



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

PAULI RUOTSALAINEN
TUOTERAKENTTEEN JA DOKUMENTAATION MERKITYS KO-
KONPANTAVUUDESSA
Diplomityö

Tarkastaja: TkT Antti Pulkkinen
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Automaatio-, kone- ja materiaalitek-
niikan tiedekuntaneuvoston kokouk-
sessä 15. elokuuta 2012

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Konetekniikan koulutusohjelma

RUOTSALAINEN, PAULI: Tuoterakenteen ja dokumentaation merkitys kokoonpantavuudessa

Diplomityö, 68 sivua, 21 kuvaa, 9 taulukkoa

Tammikuu 2013

Pääaine: Tuotekehitys

Tarkastaja: TkT Antti Pulkkinen

Avainsanat: Kokoonpanoprosessit, dokumentaatio, kokoonpanopiirustus, DWF, CAD

Tuotteen kokoonpanoprosessi on sarja toisistaan riippuvia alitehtäviä joiden suorittaminen vaatii niiden tekijältä tietoa eri työprosesseista, menetelmistä ja työkaluista. Tämä tietämys on osaltaan implisiittistä informaatiota eli tietoa ei kuvata suoraan eikä sitä ole dokumentoitu. Kokoonpanoprosessi nojaa myös toisaalta vahvasti tuotteesta sen suunnittelun aikana tuotettuun dokumentaatioon joka voidaan määrittää eksplisiittiseksi informaatioksi. Tuotteen kokoonpantavuuteen liittyvä dokumentaatio on siis täsmällisesti ja selkeästi kuvattua informaatiota tuotteen rakenteesta, tämän rakenteen komponenttien välisistä relaatioista, sekä näiden komponenttien kokoonpanojärjestyksestä.

Kokoonpanoprosessin kuvaaminen tavanomaisten kokoonpanopiirustusten kautta on kuitenkin raskas ja paljon resursseja vaativa prosessi. Mikäli monista eri varioituvista elementeistä koostuvan tuotteen kokoonpanoprosessi halutaan kuvata yksikäsitteisesti joudutaan tuottamaan lukematon määrä erilaisia projektiota, räjäytyskuvia ja leikkauksia. Muun muassa näihin syihin liittyvien kompromissien vuoksi kaksiulotteiset kokoonpanopiirustukset eivät usein riitä kuvaamaan laajojen monimutkaisten tuotteiden kokoonpanoprosessia kaikilta näkökannoilta riittävän tarkasti. Tämä johtaa siihen, että implisiittisen tietämyksen painoarvo kokoonpanoprosessissa muodostuu liian suureksi puutteelliseen dokumentaation kautta.

Tässä työssä esitetään menetelmä eksplisiittisen kokoonpanodokumentaation tuottamiseen käyttämällä hyväksi suoraan tuotteesta saatavilla olevaa kolmiulotteista informaatiota eli 3DCAD-malleja.

Menetelmä hyödyntää mekaniikkasuunnitteluohjelmistoihin sisältyneet hyödynnettävät resurssit antamalla sen tuottama kolmiulotteinen informaatio suoraan muiden osaamisalueiden käyttöön. Dokumentaatiomallia voidaan näin hyödyntää monialaiseen palautteen käsittelemiseen suunnitteluprosessin aikana, kokoonpantavuuden sekä työmenetelmien kehittämiseen, suunnitteluhistorian tallentamiseen sekä täsmällisen selkeään kuvaukseen koko kokoonpanoprosessista.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

RUOTSALAINEN, PAULI: Documentation and structure in product assembly

Master of Science Thesis, 68 pages, 21 figures, 9 tables

January 2013

Major: Product Development

Examiner: Associate Professor Antti Pulkkinen, D.Sc. (Tech.)

Keywords: Assembly processes, documentation, assembly drawing, DWF, CAD

The process of product assembly is a series of inter-related sub-tasks that require implicit knowledge of work processes, procedures and tools, by the assembler of the product. This knowledge is often deemed implicit, so it is not directly expressed, shown or documented. On the other hand, assembling a product relies heavily on the explicit information, in the form of documentation about the product, which is produced during the design process. This documentation which describes the product assembly process should be by definition clear and exact information about the product structure, about the relationships between the elements of the structure, and the sequentiality of these elements.

The process of producing this documentation in the form of traditional assembly drawings is a tedious and resource intensive work if the assembly process is required to be depicted as unambiguously as possible. Dimensionally large, complex and modularly variable products require several different projections, sections or exploded views to communicate all the needed assembly steps and directions during the process. Because compromises have to be made with traditional assembly drawings, i.e. they cannot always explicitly define the assembly process, they can set a burden of implicit knowledge about certain parts of the product assembly.

This work defines a model which explicit documentation about the assembly process can be produced using existing three-dimensional CAD-data with the tools currently available. The method takes advantage of the currently unused features of parametric engineering design software by describing the process of publishing design information outside the divisions of design departments. Using this model the assembly process can be shown unambiguously and fosters concurrent engineering principles by enhancing communication between departments.

ALKUSANAT

Haluaisin osoittaa kiitokseni kaikille tähän työhön panoksensa antaneille, niin Normetin, Savonia-ammattikorkeakoulun kuin Tampereen teknillisen yliopiston kautta vaikuttaneille henkilöille.

Pauli Ruotsalainen

SISÄLLYS

Abstract	iii
1 Johdanto	7
1.1 Työn tausta, liittynät ja tavoitteet	7
1.2 Työn rakenne	8
2 Työn lähtökohdat	9
2.1 Savonia-ammattikorkeakoulu	9
2.2 Normet Oy	10
2.2.1 Tuotetarjonta maanalaisiin prosesseihin	11
2.2.2 Näkemyksiä tuotteistosta	20
3 Dokumentaatiomallin teoreettinen tausta	21
3.1 Tuotannon näkökantoja	21
3.1.1 Kokoonpano ja kokoonpantavuus	21
3.1.2 Massaräätälöintistrategia	22
3.1.3 Tuotannon joustavuus	22
3.1.4 Viiväistäminen	23
3.1.5 Modulaarisuus	24
3.1.6 Kustomoinnin ja varioituvuuden rajat	28
3.2 Monimutkaisten systeemien mallinnukseen soveltuvat menetelmät	31
3.2.1 Yleiset matriisimenetelmät	31
3.2.2 Konfiguroinnin määritelmä	33
3.2.3 Konfiguroinnin matriisimenetelmä, K- ja V-matriisit	34
3.3 Dokumentaation liittynät prosesseihin, konfiguroitavuuteen sekä tiedon tyyppeihin	37
3.3.1 Tiedon typologia	37
3.3.2 Järjestelmiin sisältyvien tietoalkioiden relaatiot	42
3.3.3 Prosessit, konfigurointi ja spesifikaatiot	44
4 Dokumentaatiomalli	50
4.1 Puumainen tiedon esitystapa kokoonpantavuuden kannalta	50
4.2 Dokumentaation yksikäsitteisyys ja sen vaikutus kokoonpantavuuteen	56
4.3 Kokoonpantavuuden kehittäminen kolmiulotteisen tuoteinformaation avulla	59
4.3.1 Julkaisu	60
4.3.2 Kommentoi	63
4.3.3 Arvioi	64
4.3.4 Muokkaa	65
5 Johtopäätökset ja jatkokehitys	66
6 Lähdeluettelo	67

1 JOHDANTO

1.1 TYÖN TAUSTA, LIITYNNÄT JA TAVOITTEET

Tämä työ on osa Savonia-ammattikorkeakoulun toteuttamaa LEKA-hanketta (1.1.11 – 31.12.13, budjetti 2,6M€)¹ jonka tavoitteena on tarjota tutkimus- ja koulutuspalveluita Pohjois-Savon alueen teknologiateollisuuden yrityksille. Palvelut toteutetaan Savonia-ammattikorkeakoulun ohella myös maakunnan ammattiopistojen sekä Navitas Kehitys Oy:n tukemana yliopistojen kautta. Alueen yrityksen tarpeista syntyneet tällä hetkellä käynnissä olevat LEKA-hankkeen tutkimusprojektit liittyvät digitaalisten työkalujen ja menetelmien hyödyntämiseen toimitusverkostossa, tuotannon työkalujen ja menetelmien kehittämiseen sekä globaalin toimitusketjun hallintaan. Lisäksi toimintaa on massaräätälöinnin sekä konfiguroinnin saralla ja käynnissä on myös palveluliiketoimintamallien kehittämiseen liittyvä projekti.

Tämä diplomityö on toiminut osaprojektin nimikkeellä LEKA-hankkeen globaalin toimitusketjun hallinnan tutkimusalueen alaisuudessa. Osaprojektin esiselvitystyönä on toiminut diplomityöntekijän kesällä 2011 toteuttama esitutkimus työohjeiden tekemiseen soveltuvista prosesseista ja toimintamalleista Normet Oy:n tarpeisiin. Esiselvityksen tavoitteina olivat yrityksen dokumentaatiomahdollisuuksien tunnistaminen sekä sisäisissä että ulkoisissa prosesseissa kokoonpantavuuden saralla. Diplomityö on jatkokehitys tämän esiselvitystyön perusteella heränneistä näkökannoista ja on toteutettu 1.1.2012 – 31.7.2012 välisenä aikana.

Normet Oy kuuluu Pohjois-Savon alueen teknologiateollisuuden veturiyrityksiin ja kehittää, valmistaa sekä myy maanalaisten kaivosten ja tunneleiden rakentamiseen tarvittavia laitteita sekä tuotteisiin liittyviä oheispalveluita.

Osaprojektin, eli tämän diplomityön, tavoitteena on ollut yrityksen dokumentaatiomallin kehittäminen erityisesti kokoonpantavuuden tietotarpeiden näkökannalta. Dokumentaatiomalliin voidaan käsittää kuuluvan muun muassa työ-, huolto-, valmistus- ja muut tekniset piirustukset ja työohjeet ja kaikki ne dokumentit ja spesifikaatiot joita käytetään joka vaiheessa globaalia toimitusketjua sekä eri tahojen toimesta. Osaprojektin tavoitteeksi asetettiin dokumentaatiomallin käsitteellisempi kehittäminen eteenpäin, tuotetiedon käytön tehokkuuden lisääminen kokoonpanon tietotarpeita silmälläpitäen ja näiltä osin prosessien selkeyttäminen.

¹ <http://leka.savonia.fi/>

1.2 TYÖN RAKENNE

Työn toisessa kappaleessa esitetään diplomityön lähtökohdat esittelemällä ne organisatiot ja joiden rajapinnassa tämä työ on toteutettu. Tämän lisäksi käydään läpi työtä koskevan yrityksen tuotteistoa dokumentaatiomallia soveltuvien osien.

Kolmannessa kappaleessa käydään läpi työn teoreettinen tausta tuotannon strategisten näkökantojen kautta siirtyen monimutkaisten systeemien mallinnukseen. Työssä esitellään erilaisten systeemien mallintamiseen käytettävien matriisimenetelmien perusteet sekä eräs matriisimenetelmiin perustuva sovellus jota käytetään tuotekonfiguroinnissa.

Neljäs kappale käsittelee työssä kehitetyn dokumentaatiomallin täsmällisemmän taustan teorian osalta ja esittelee käytännön menetelmän kolmiulotteisen tuoteinformaation hyödyntämiseen kokoonpantavuuden kehittämisessä ja monialaisen järjestelmäkehityksen pohjana.

Työn viides kappale sisältää työssä päädyttyihin johtopäätöksiin suosituksista sekä tulevaisuuden kehityksen suunnista kolmiulotteisen tuoteinformaation hyödyntämisessä.

2 TYÖN LÄHTÖKOHDAT

2.1 SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU

Savonia-ammattikorkeakoulu on yksi Suomen suurimmista ja monipuolisimmista ammattikorkeakouluista ja tarjoaa koulutusta kuudella eri koulutusalueella. Sen koulutusyksiköt sijaitsevat Kuopiossa, Iisalmessa ja Varkaudessa. Ammattikorkeakoulua ylläpitää Savonia-ammattikorkeakoulun kuntayhtymä jonka jäsenkunnat ovat Iisalmi, Kiuruvesi, Kuopio, Lapinlahti ja Varkaus. Savonia on profiloitunut aktiivisesti palvelemaan alueen (Kuva 1) yrityksiä ja tarjoaa yksilöllisiä ratkaisuja yritysten sekä työyhteisöjen kehittämistarpeisiin. Paras esimerkki tästä onkin parhaillaan voimassa oleva LEKA-hanke jonka tavoitteena on alueen teknologisen verkoston kehittäminen. Tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminnan osaamiskeskittymät ovat hyvinvointituotteiden- ja palveluiden, energian, ympäristön ja turvallisuuden sekä integroidun tuotekehityksen saralla nousseet keihäänkärjiksi. (Savonia-ammattikorkeakoulu, 2012)



Kuva 1 Pohjois-Savon kartta. (Wikimedia Commons, 2010)

2.2 NORMET OY

900 työntekijää työllistävä Normet Oy:n pääkonttori sijaitsee Iisalmessa. Pääkonttorin ohessa sijaitsevat yrityksen konsernijohto sekä tuotteiden ja palveluiden tuotekehitys. Tuotantotiloja yrityksellä on maailmanlaajuisesti: Iisalmessa, Santiagossa, Chilessä, Ludvikassa sekä Ruotsissa. Myös yrityksen jakelu- ja palveluverkosto on maailmanlaajuinen ja kattaa 36 myynti- ja tukitoimipistettä 22 maassa. Verkoston toimintaa hallinnoidaan Sveitsistä Normet International Ltd:n kautta. Koko Normet konsernin liikevaihto vuonna 2011 oli 170 miljoonaa euroa. Yrityksellä on 50 vuoden kokemus maanalaisien teknisten laitteiden saralta. Viime vuosina se on panostanut toimenkuvaansa kokonaisvaltaiseksi järjestelmätoimittajaksi tarjoamalla rakennuskemikaaleja ja asiakasprosesseja vahvistavia ratkaisuja. Normet Oy:n tarjoama tuote- ja palvelutarjonta sisältää ratkaisuja seuraaviin maanalaisiin prosesseihin: (Normet Oy, 2012)

- Betoniruisutus ja kuljetus
- Räjähdyksineiden panostus
- Nosto- ja asennustyöt
- Maanalainen logistiikka
- Rusnaus








Kuva 2 Normet Oy:n toimipisteet maailmalla. (Normet Oy, 2012)

2.2.1 TUOTETARJONTA MAANALAIISIIN PROSESSEIHIN

2.2.1.1 SPRAYMEC

Kallionrakennusprojekteissa seinien lujitus saavutetaan ruiskubetonin seiniä tukevan vaikutuksen avulla. Spraymec-koneet (Taulukko 1) on suunniteltu tätä käyttötarkoitusta varten jolloin tunnelien seinät voidaan peittää mekanisoidun ruiskutuspuomin avulla helposti ja turvallisesti. Koneet ovat mobiileja pyörillä kulkevia mekanisoituja ruiskutusjärjestelmiä ja saavat käyttövoimansa joko sähkö- tai dieselhydraulisesti. Koneita on saatavilla keskiohjaamollisina tai keskinivelisinä malleina. Keskinivelisissä malleissa ohjaamo sijaitsee koneen etupäässä. Yhteistä kaikille konemalleille on kuitenkin se, että niissä jokaisessa on puomi, jonka päässä olevan automatisoidusti ohjatun suuttimen kautta betoni ruiskutetaan tukemaan kallioseiniä. Spraymec-koneita on toimitettu asiakkaille satoja kappaleita, joista useimpien ilmoitetaan olevan vielä toimintakuntoisia. (Normet Oy, 2012)

Taulukko 1 Spraymec-konemallit






Konemalli	Käyttötarkoitus ja dimensiot
SPRAYMEC 8100 VC 	Ruiskubetonointi erikokoisissa tunneleissa Pituus 13 m, leveys 2.5 m, korkeus 2.8 m, akseliväli 3.8m paino 14500 kg sähkö-hydraulinen
SPRAYMEC 1050 WP(C) 	Ruiskubetonointi keskikokoisissa ja suurissa tunneleissa Pituus 11.5 m, leveys 2 m, korkeus 2.5 m, akseliväli 3.6m, paino 15500 kg diesel- tai sähkö-hydraulinen Keskinivelohjaus
SPRAYMEC 6050 WP 	Ruiskubetonointi pieni- ja keskikokoisissa tunneleissa Pituus 10.5 m, leveys 2 m, korkeus 2.1 m, akseliväli 3.5m, paino 13500 kg diesel- tai sähkö-hydraulinen Keskinivelohjaus
SPRAYMEC 7110 WP(C) 	Ruiskubetonointi erikokoisissa tunneleissa Pituus 8,3 m, leveys 2.2 m, korkeus 3.1 m, akseliväli 3.8m (*) paino 14500 kg sähkö-hydraulinen
SPRAYMEC 9150 WP(C) 	Ruiskubetonointi suurissa tunneleissa Pituus 12.6 m, leveys 2.3 m, korkeus 2.9 m, akseliväli 3.3m, paino 22200 kg, diesel- tai sähkö-hydraulinen Keskinivelohjaus

*Kuljetusmitat

2.2.1.2 CHARMEC

Charmec-koneet (Taulukko 2) toimivat maanalaisen louhinnan kokonaisvaltaisena panostusjärjestelmäratkaisuna. Koneita voidaan käyttää tunnelilouhinnassa niin vaakasuorilla kuin ylä- ja alakätkisillä reillä. Maanalaisen louhinnan panostustöissä tarvittavat irtoräjähdyksineet (ammoniumnitraatin AN ja polttoöljyn FO sekoitus AN/FO, sekä emulsiot ja vesigeelit) kuljetetaan koneen mukana. Räjähdyksineet ovat inerttejä ja hermistetään vasta panostusvaiheessa. Koska viranomais säädökset luokittelevat louhintatöissä käytettävät panostuslaitteet usein räjähdysainetehtäiksi, on Charmec-koneet suunniteltu toteutettu tiivissä yhteistyössä räjähdysainevalmistajien kanssa. Koneita on toimitettu eri asiakkaille maailmanlaajuisesti satoja kappaleita. (Normet Oy, 2012)




Taulukko 2 Charmec-konemallit

Konemalli	Käyttötarkoitus ja dimensiot
CHARMEC 6605 B 	Panostus pieni- ja keskikokoisissa tunneleissa Pituus 9.3 m, leveys 2.1 m, korkeus 2.2 m, akseliväli 3.5m paino 10000 kg ANFO
CHARMEC 9825 BE 	Emulsiopanostus
CHARMEC 9905 BC ANT 1000 	Panostus suurissa tunneleissa Pituus 1.2 m, leveys 2.0 m, korkeus 2.9 m, akseliväli 3.3m paino 19600 kg ANFO Keskinivel
CHARMEC 9910 BC ANX 1000 	Panostus suurissa tunneleissa Pituus 1.2 m, leveys 2.0 m, korkeus 2.9 m, akseliväli 3.3m paino 19600 kg ANFO Keskinivel
CHARMEC MC/LC 605 DA 	Emulsiopanostus Keskinivel

2.2.1.3 UTILIFT

Utilift-koneet (Taulukko 3) ovat monikäyttöisiä laitteita ja soveltuvat henkilönostoon, panostukseen, lujitukseen sekä erilaisiin putkistojen asennustöihin. Utilift-nostolaitteita on pääosin saatavana saksilavalla varustettuna mutta yksi tuotteiston malli on saatavissa myös nostopuomilla varustettuna. Koneisiin tarjotaan ANFO-panostuskittejä jolloin konetta voidaan käyttää Charmec koneiden tavoin panostustöissä. Laitteisiin sisältyvät lisävarusteina lisäksi muun muassa nosturit, putkien asennuksessa tarvittavat apulaitteet sekä paineilmakompressorit.




Taulukko 3 Utilift-konemallit

Konemalli	Käyttötarkoitus ja dimensiot
UTILIFT 6330 X 	Nostotyöt pienissä tunneleissa Pituus 7.8 m, leveys 1.8 m, korkeus 2.3 m, akseliväli 3.5m paino 11000 kg Keskinivel
UTILIFT 6605 B 	Nostotyöt pienissä ja keskikokoisissa tunneleissa Pituus 9.3 m, leveys 1.9 m, korkeus 2.2 m, akseliväli 3.5m paino 9500 kg Keskinivel
UTILIFT MF 540 	Nostotyöt korkeissa tunneleissa Pituus 8.7 m, leveys 2.0 m, korkeus 2.6 m, akseliväli 3.6m paino 12900 kg Keskinivel

2.2.1.4 HIMEC

Himec-nostolaitteilla (Taulukko 4) on laaja puomien ulottuvuus. Näin niiden suuri aluekattavuuden takia soveltuvat ne useimpiin eri tunneliprofiileihin. Koneita käytetään henkilönosto- ja asennustöissä, sekä kovan että pehmeän kiven tunneliprojekteissa. Himec-konemallisto on hyvin räätälöitävissä. Saatavilla on useita nostolavoja ja lisävarusteita eri käyttötarkoitusten mukaan asennettuna.


Taulukko 4 Himec-konemallit

Konemalli	Käyttötarkoitus ja dimensiot
HIMEC 9905 BT 	Nostotyöt isoissa tunneleissa Pituus 9.7 m, leveys 2.0 m, korkeus 2.9 m, akseliväli 3.3m paino 19600 kg Keskinivel
HIMEC 9910 B REX 	Nostotyöt isoissa tunneleissa Pituus 10.0 m, leveys 2.0 m, korkeus 2.9 m, akseliväli 3.3m paino 19700 kg Keskinivel
HIMEC 9915 BA 	Teräskaarien asennus Pituus 10.0 m, leveys 2.0 m, korkeus 2.9 m, akseliväli 3.3m paino 20300 kg Keskinivel

2.2.1.5 SCAMEC

Scamec-koneita (Taulukko 5) käytetään rusnaukseen eli kalliopintojen louhintaan jossa pinnoista poistetaan niistä irtoamassa olevat kivet sekä muu sortumisvaarallinen irtoaines. Hydraulinen iskuvasara soveltuu kovan kiven rusnaamiseen kun taas pehmeän ja liuskeisen kiven rusnaukseen koneeseen on saatavilla kynsirusnausyksikkö. Vaihdetta-
vien puomien avulla kone soveltuu ulottuvuudeltaan eri kokoiisiin tunneliprofiileihin.

Taulukko 5 Scamec-konemalli.

Konemalli	Käyttötarkoitus ja dimensiot
SCAMEC 2000 S 	Rusnaus erikokoisissa tunneleissa Pituus 12.5 m, leveys 2.6 m, korkeus 2.4 m, akseliväli 3.9 m paino 24200 kg Keskinivel






2.2.1.6 VARIOMEK JA MULTIMEC

Variomec-koneita (Taulukko 6) käytetään erilaisissa maanalaisissa kuljetustehtävissä. Koneet koostuvat standardialustasta johon on saatavilla erilaisia työkasetteja. Konetta voidaan käyttää betonin- ja kivenkuljetuksessa sekä monissa muissa käyttötarkoituksissa vaihtamalla koneen lavan tilalle käyttötarkoitusta varten suunniteltu kasetti. Koska koneeseen on asennettavissa lavan tilalle myös koripuomi, on sillä mahdollista tehdä myös henkilönostoa vaativia asennustöitä.

Multimec-laitteet (Taulukko 6) ovat myös maanalaiseen kuljetukseen suunniteltu tuoteperhe ja toimivat samalla kasettiperiaattella kuin Variomec. Laite koostuu yhteisestä alustasta sekä erilaisista asiakkaalle tarjottavista kasettivaihtoehtoista joita vaihtamalla koneen käyttötarkoitus voidaan muuntaa. Tarjolla olevia kasetteja on eri käyttötarkoituksia varten:

- Betoninkuljetuskasetti
- Nosturikasetti
- Polttoainekasetti
- Voitelukasetti
- Henkilökuljetuskasetti
- Materiaalinkuljetuskasetti

Taulukko 6 Variomec- ja Multimec-konemallit.







Konemalli	Käyttötarkoitus ja dimensiot
VARIOMEC 1060 D 	Maanalainen kuljetus (*) Kasetin vaihto 2h Keskinivel
VARIOMEC 1090 D 	Maanalainen kuljetus (*) Kasetin vaihto 2h Keskinivel
VARIOMEC 1050 M 	Maanalainen kuljetus (*) Kasetin vaihto 2h Keskinivel
MULTIMEC 6600 	Maanalainen kuljetus (*) Kasetin vaihto 2h Keskinivel
MULTIMEC MF 100 	Maanalainen kuljetus (*) Kasetin vaihto 2h Keskinivel

(*) Betoni-, polttoaine-, voiteluaine-, henkilöstö-, materiaali- ja nosturikasetti.

2.2.1.7 UTIMEC

Utimec-koneita (Taulukko 7) käytetään kuljettamaan polttoaineita, öljyä, henkilöstöä tai erinäistä materiaalia. Kuljetuslavan lisäksi kone voidaan varustaa nosturilla. Utimec-koneet toteuttavat siis useita Variomec- ja Multimec-koneiden työtehtäviä. Koneet on suunniteltu tehtäviin joissa työnkuva ei muutu, eli ajoneuvoa käytetään samassa käytössä jatkuvasti.

Taulukko 7 Utimec-konemallit.

Konemalli	Käyttötarkoitus ja dimensiot
UTIMEC 6160 PER 	Henkilökuljetukset Keskinivel
UTIMEC 6250 CR 	Materiaalin kuljetus Keskinivel
UTIMEC MF 500 TRANSMIXER 	Betoninkuljetus Kapasiteetti 4.4 m ³ Keskinivel Ajokorkeus 2.4 m
UTIMEC 1600 AGI- TATOR 	Betoninkuljetus Kapasiteetti 6 m ³ Keskinivel Ajokorkeus 3.3 m
UTIMEC LF 500 TRANSMIXER 	Betoninkuljetus Kapasiteetti 4.4 m ³ Keskinivel Ajokorkeus 2.4 m
UTIMEC LF 600 TRANSMIXER 	Betoninkuljetus Kapasiteetti 5.6 m ³ Keskinivel Ajokorkeus 2.6 m

2.2.2 NÄKEMYKSIÄ TUOTTEISTOSTA

Tuotteiston nykyisen kokoonpantavuuden rajoitteena ovat olleet kokoonpanojärjestyksen työvaiheiden liian vähäinen määrä. Tämä on aiheuttanut paikkakoonnassa tilanteen, jossa työpisteelle on muodostunut liian suuri ja organisoimaton komponenttimäärä. Kokoonpanotiimi on jakanut itsenäisesti työvaiheet pienempiin ja hallittavampiin alikokonaisuuksiin, eli kokoonpanija on joutunut kokoonpanoprosessissa rutiinimaisen ongelmanratkaisijan rooliin. Tämän työn kuluessa on yrityksen sisällä kuitenkin edennyt kehitysprojekti, jonka tavoitteena on työvaiheistuksen uusi vaiheistusmalli jolla tähän ongelmaan yritetään pureutua. Ongelma on siis tiedostettu yrityksen osalta ja korjaustoimenpiteisiin on ryhdytty.

Tuotteiston modulaarisuutta on kehitetty tuoteperheittäin. Tuotteiston rajoitteena on kuitenkin se että rakenteet nojaavat usein kuitenkin vanhoihin ratkaisuihin, jolloin ominaisuuksien ja niitä vastaavien moduulien määrä on usein liian suuri tai hajanainen.

Tuoteperheet sisältävät myös useita toiminnallisuuden päällekkäisyyksiä sekä tuoteperheen sisällä että tuoteperheiden välillä. Tuotealustoja on tarjolla liian paljon eikä valikoima näyttäydy selkeänä koherenttina kokonaisuutena. Tulevaisuuden tavoitteena tulisi pyrkiä tuotevarianttien supistamiseen nykyistä huomattavasti harvemmille tuotealustoille jotka omaavat on yhteisen vakiorakenteen jonka päälle asiakaskohtaiset variantit muodostuvat.

3 DOKUMENTAATIOMALLIN TEOREETTINEN TAUSTA

3.1 TUOTANNON NÄKÖKANTOJA

3.1.1 KOKOONPANO JA KOKOONPANTAVUUS

Erilaisista osista koostuva tuote voidaan kokonaisuudessaan käsittää kokoonpanona eli kokoelmana elementtejä jotka on liitetty toisiinsa eri liitosmenetelmien avulla. Useimmat tuotteet voidaan lukea kokoonpantaviin tuotteisiin kuuluviksi eli niiden valmistamiseen liittyy jonkinlainen kokoonpanoprosessi. Koska tämä kokoonpanoprosessi voi muodostua usein tuotteen valmistamisen suurimmaksi yksittäiseksi kulueräksi voidaan kokoonpantavuuden kehittämällä saavuttaa huomattavia taloudellisia hyötyjä. (Bralla, 1999)

Toisin sanoen, mitä suurempi on tuotteen tuotantokustannusten ja myyntihinnan välinen kuilu, sitä parempi kate tuotteesta voidaan saada. Tavoitellaan siis mahdollisimman hyvää tuotteen kokoonpantavuutta jotta tämä katekuilu saadaan muodostettua mahdollisimman suureksi. Käytännössä tämä edellyttää tuotteiden suunnittelua kokoonpantavuuden kannalta (eng. termi DFA eli Design For Assembly) sekä tuotteen osien valmistusmyötäistä suunnittelua (eng. termi DFM eli Design For Manufacturing).

DFMA-menetelmän (Boothroyd & Dewhurst) toimintaperiaate on kärjistäen kokoonpantavuuden kehittäminen tavoittelemalla kokoonpanoa johon sisältyy mahdollisimman vähän komponentteja ja että nämä komponentit liitetään toisiinsa kaikkein kustannustehokkaimpien liitostyyppien avulla. Pitkällä aikavälillä tavoitteena on saavuttaa kustannustehokkain kokoonpano joka syntyy kun minimoidaan muun muassa komponenteista, kokoonpanosta, siihen käytettävistä laitteista ja työkaluista sekä materiaaleista syntyvät kustannukset

Kokoonpantavuutta DFA-menetelmän kautta kehitettäessä kokoonpanon suunnittelun periaatteena on siis muun muassa: (Bralla, 1999).

- Osien lukumäärän minimointi yhdistämällä osien toiminnallisuuksia aina kun mahdollista
- Liitososien minimointi standardisoimalla käytettävät kokoluokat ja minimoimalla kokoluokkien lukumäärä
- Kierrelitosten minimointi
- Suunnitella kokoonpanon komponentit siten että niitä ei voida asentaa väärin
- Kokoonpanovaiheiden eliminointi joissa vaaditaan useiden eri komponenttien samanaikaista asemointia

Suunnittelijan kannalta ajateltuna kokoonpantavuus tulisi huomioida heti ensimmäisistä tuotekonsepteista alkaen. Osia ja kokoonpanoja suunnitellessa tulee visualisoida miten osat asennetaan paikalleen, harkita eri suunnitteluvaihtoehtoja ja tunnistaa niistä paras kokoonpantavuutta tukeva ratkaisu. Suunnittelijan tulee tunnistaa käytännön kokoonpanoprosessin vaiheet ja niihin kuuluvat työkalut. Jokainen kokoonpano ja sen komponentti tulisi suunnitella siten, että osan valmistamiseen tai kokoonpanon koostamiseen kuuluvien vaiheiden lukumäärä saadaan minimoitua. (Bralla, 1999)

3.1.2 MASSARÄÄTÄLÖINTISTRATEGIA

Dokumentaatiomallin viitekehys on riippuvainen yrityksen tuotantomallista ja niistä käytännöistä, joihin yritys pyrkii kehitystavoitteissaan. Työssä rakennetun dokumentaatiomallin viitekehystenä toimii näin ollen massaräätälöinti. Massaräätälöinti voidaan tiivistäen määrittää seuraavalla tavalla: se on joustava tuotantomenetelmä, jonka avulla valmistetaan yksittäisten asiakkaiden vaatimusten mukaisia tuotteita massatuotantoon verrattavalla tehokkuudella. (Tseng & Jiao, 2001) Jos yritys onnistuu massaräätälöintistrategiassaan, on mahdollista että seuraavat toisilleen normaalisti massatuotannon kannalta ristiriidassa olevat ehdot saadaan täytettyä:

1. Asiakkaalle toimitettu tuote tyydyttää lähes täydellisesti asiakkaan vaatimukset tuotteen toimivuudesta, tuotteen kustomointiaste on siis suuri. (Kumar, 2004)
2. Kyseisen tuotteen hinta ei kuitenkaan ole verrannollinen tähän kustomointiasteseen, vaan se on verrattavissa massatuotannon avulla valmistettuun vastaavaan tuotteeseen. (Kumar, 2004)

Massaräätälöintistrategian onnistumisen edellytyksenä voidaan nähdä kolme osa-aluetta joiden hallinta voidaan nähdä strategian toteuttamisen kannalta olennaisena. Nämä osa-alueet muodostavat perustan yllä kuvattujen ehtojen toteuttamiselle ja liittyvät massaräätälöinnin käsitteeseen hyvin tiivistä. Nämä kolme osa-aluetta ovat: (Fogliatto & da Silveira, 2011)

1. tuotannon joustavuus
2. viiväistäminen
3. modulaarisuus

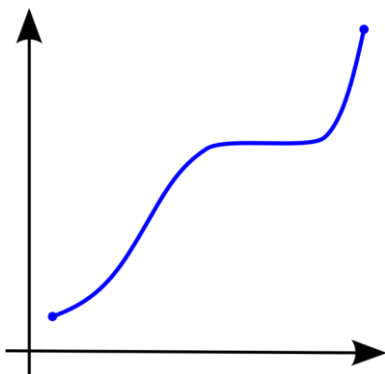
3.1.3 TUOTANNON JOUSTAVUUS

Tuotannon joustavuus käsitteenä voidaan määritellä (Shi ja Daniels, 2003) kyvyksi valmistautua teknologisen kehityksen tuomaan epävarmuuteen, eli kykyä hallita sitä monimutkaisuutta jonka oletetaan lisääntyvän koko ajan teknologian kehittyessä. Massaräätälöinnin kannalta ajateltuna tuotannon joustavuus liittyy lähinnä tuotantoprosessin joustavuuteen (Fogliatto & da Silveira, 2011). Tuotantoprosessien joustavuuden osalta on mainittava FMS-järjestelmät (eng. Flexible Manufacturing System) joissa tämä

tuotannon joustavuus on hyvin suuri. Toisin sanoen, FMS-järjestelmällä on kyky reagoida muutoksiin notkeasti. Joustava tuotantojärjestelmä koostuu siis joustavista prosesseista ja näin ollen ne soveltuvat erityisen hyvin massaräätälöintituotantoon, jolloin tuotteen elementtien tai kokoonpanon varioitavuuteen voidaan nopeasti reagoida, tyydyttäen eri asiakastarpeet lyhyen aikavälin puitteissa. Prosessien joustavuus liittyy toisaalta Williamsin (1994) mukaan sekä lyhyen että pitkän aikavälin prosesseihin. Lyhyen aikavälin prosessijoustavuus liittyy tuotantojärjestelmän kykyyn käsitellä useita erilaisia tuotteen elementtejä jotka on etukäteen määritellyt tiettyjen sääntöjen ja ehtojen mukaisesti. Pitkän aikavälin prosessijoustavuus katsotaan liittyvän taas tuotantojärjestelmän uudelleenkonfiguroitavuuteen, eli kykyyn valmistaa niitä tuotteen elementtejä, jotka eivät välttämättä täysin vastaa järjestelmään etukäteen suunniteltua tuotantokykyä. Tällainen tilanne voi syntyä esimerkiksi silloin, kun uusi versio tuotteesta vaihdetaan linjalta vanhan tilalle. (Fogliatto & da Silveira, 2011)

3.1.4 VIIVÄISTÄMINEN

Järkevään massaräätälöintistrategiaan kuuluu myös räätälöintiin oleellisesti liittyvän varioinnin myöhäistäminen tuotantoprosessissa, toisin sanoen että variointi tehdään mahdollisimman myöhäisessä vaiheessa. Viiväistäminen (eng. postponement tai delayed differentiation) voi näin ollen asiakkaan näkökulmasta katsottuna näennäisesti parantaa yrityksen reagoitukykyä koska viiväistämisen kautta yritys voi hallita paremmin sitä epävarmuutta, joka liittyy usein asiakasvarioituvien konfiguroitavien tuotteiden toimittamiseen. Viiväistäminen voi olla tuotannollista, jolloin tietyt prosessit käynnistyvät vasta asiakkaan tilauksesta. Toisaalta viiväistäminen voidaan liittää myös toimitusketjun toimintaan, jossa logistisesti sekä ajallisesti tuotteet liikkuvat vasta asiakkaan tilauksen antaman impulssin kautta. (Fogliatto & da Silveira, 2011)



Kuva 3 Monotonisesti (ei-aidosti) kasvava funktio. (Alexandrov, 2012)

Itse tuotteen varioitavuudesta puhuttaessa viiväistäminen tarkoittaa sitä, että tuotantoprosessissa tuotteen varioitumisasteen tulisi olla prosessin alussa pieni ja kasvaa monotonisesti (matemaattisen määritelmän mukaan ei kuitenkaan ”aidosti” kts. Kuva 3) loppua kohden. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tuotteen yhteiset osat ja kokoonpanot

tuotetaan prosessin alkuvaiheessa ja varioituvat osat sekä kokoonpanot mahdollisimman myöhäisessä vaiheessa prosessia. Viiväistetty varioituvuuden lisääminen toteutetaan joko tuotantolinjalla, koneen tai laitteen asennuksessa tai jopa käyttöönoton yhteydessä asiakkaan toimesta. Aines- ja aihiovarianttien määrä tulee pitää siis pienenä. Tavoitteena on, että pienestä määrästä ainesvariantteja muodostetaan suurempi joukko osavariantteja, joista edelleen muodostetaan yhä suurempi kokonaisuus tuotevariantteja. (Huhtala & Pulkkinen, Tuotteen, prosessin ja verkon tasapainoinen tarkastelu, 2009)

3.1.5 MODULAARISUUS

Moduuli käsitetään yleisesti tuotteen itsenäiseksi ja vaihdettavaksi elementiksi, eli se on osa kokonaisuutta joka käsitetään tuoterakenteeksi. Modulaarisen rakenteen omaava tuote koostuu siis moduuleista. Tuotteen jako moduuleihin tehdään mahdollisimman tarkasti määriteltujen ja tuotteen elinkaaren aikana vakiona pidettävien rajapintojen mukaisesti jotta moduuleja voidaan helposti yhdistellä ja vaihdella tuoterakenteen sisällä. Modulaarisen tuoterakenteen ominaisuus on siis elementtien vaihdettavuus, jonka avulla on mahdollista toteuttaa suuri standardielementtien määrä ja tuotevariaatioiden notkea hallinta eri asiakasryhmien asettamien vaatimusten välillä.

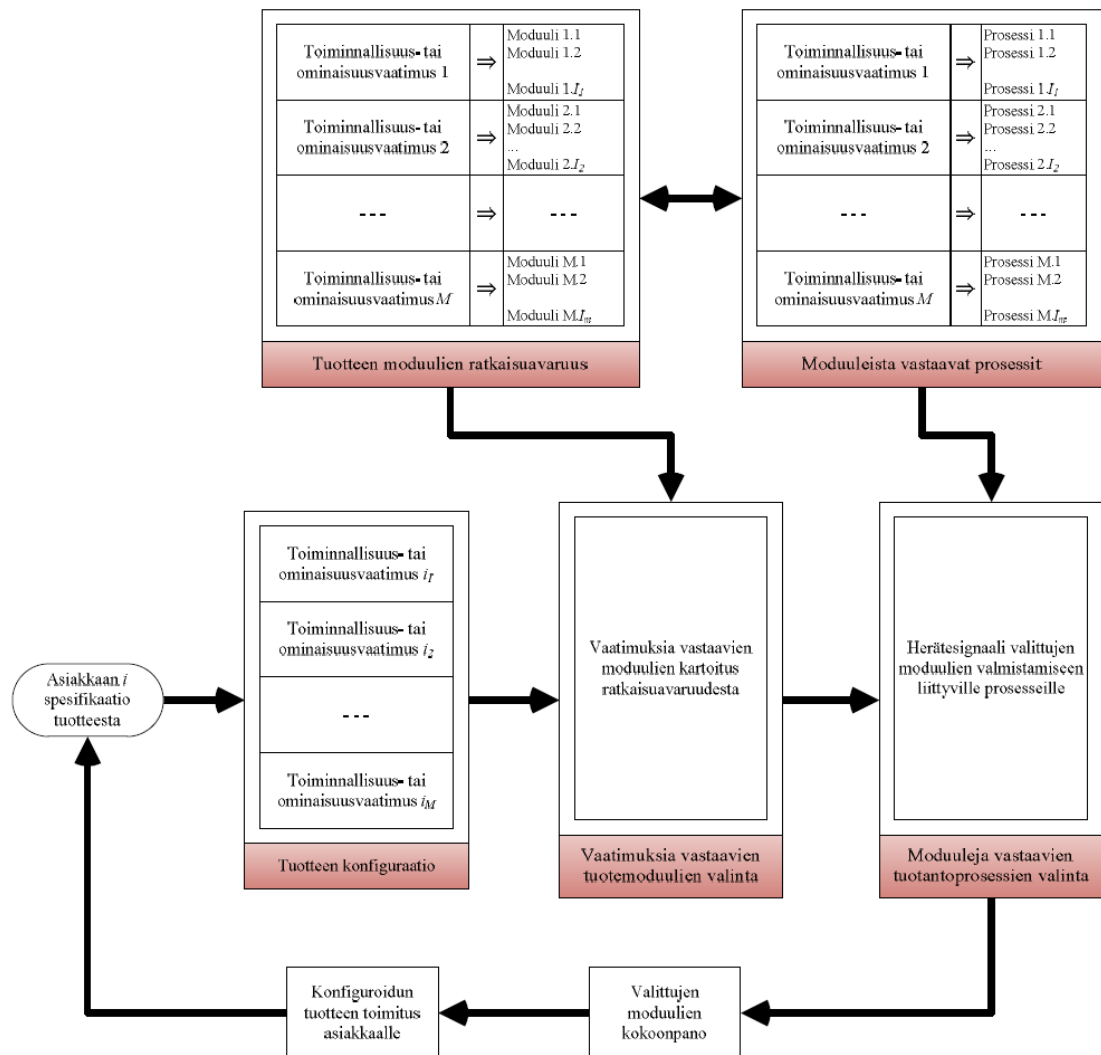
Tuotteen jakoa moduuleihin ohjaavat tekijät jotka esitetään alla. Nämä tekijät jotka voivat liittyä tuotteen tokminnallisuuteen, yrityksen eri toimintoihin, tuotteen elinkaareen tai yrityksen toimintaympäristön vaatimuksiin. Taulukko 8 esittää yleisimmät tekijät jotka ohjaavat modulaarisen tuoterakenteen muodostumista. (Österholm & Tuokko, 2001)

Taulukko 8 Österholmin määrittelemiä modulaarisuutta ajavia tekijöitä. (Österholm J. , 2000)

SUUNNITTELU JA TUOTEKEHITYS
<p>Tuoteominaisuuksien siirto seuraavan tuotesukupolveen</p> <p>Yksikkö, jota voidaan käyttää uudelleen tulevilla tuotesukupolvissa tai jota voidaan käyttää myös muissa tuoteperheissä</p> <p>Tekninen kehitys</p> <p>Yksikkö, jonka teknologiaan on odotettavissa muutoksia tuoteperheen elinkaaren aikana. Voi olla seuraus asiakasvaatimusten muutoksista, tekniikan kehittymisestä tai komponenttien markkinoille tulosta</p> <p>Yrityksen sisäiset tuotteeseen suunnitellut muutokset</p> <p>Yksikkö, johon on suunniteltu tehtäväksi jotain muutoksia yrityksen sisäisen suunnitelman mukaisesti</p>
VARIOITUVUUS
<p>Tekninen variointi</p> <p>Yksikkö, jonka toiminnot tai suorituskyky varioivat tuoteperheen tuotteiden välillä</p> <p>Ulkonäöllinen variointi</p> <p>Yksikkö, jonka väri ja/tai muoto varioivat tuoteperheen välillä</p>
VALMISTUS
<p>Yhteinen yksikkö</p> <p>Yksikkö, jota käytetään läpi koko tuoteperheen eli kaikissa tuoteperheen tuotteissa</p> <p>Tuotantoprosessi/organisaatio</p> <p>Yksikkö, jonka valmistuksessa tarvitaan erityisiä valmistusmenetelmiä tai joka on sopiva työkokonaisuus ryhmälle. Voi muodostaa sopivan kokonaisuuden kokoonpantuna esim. kuljetusta tai käsittelyä ajatellen tai yksikön läpimenoaika voi olla poikkeava muusta tuotannosta</p>
LAATU
<p>Erillinen testaus</p> <p>Yksikkö, jonka toiminta voidaan tai pitäisi testata erillisenä ennen loppukokoonpanoa</p>
ALIHANKINTA
<p>Soveltuva toimittaja saatavilla</p> <p>Yksikkö, joka voidaan tilata alihankkijoilta. Olemassa erikoistunut toimittaja, joka voi toimittaa yksikön ”mustana laatikkona” yksittäisten osien sijasta. Toimittaja voi osittain vastata yksikön tuotekehityksestä</p>
MYYNIN JÄLKEINEN PALVELU
<p>Huolto ja kunnossapito</p> <p>Yksikkö, jonka pitää olla helposti huollettavissa tuotteen eliniän aikana koska se sisältää suurimman osan tarvittavasta huollosta tai koska se voidaan vioittuessaan nopeasti vaihtaa uuteen ja huoltotoimenpiteet voidaan tehdä muualla</p> <p>Parannus tai päivitys</p> <p>Yksikkö, joka voidaan korvata toisella erilaisten toimintojen tai paremman suorituskyvyn aikaansaamiseksi</p> <p>Kierrätys</p> <p>Yksikkö, johon pitää kiinnittää erityistä huomiota tuotetta hävitettäessä koska se sisältää ongelmajätettä tai muuta erittäin haitallista ainesta tai koska sen sisältämät aineet ovat helppo kierrättää</p>

Käytännössä moduuli voidaan käsittää siis monimutkaisen tuotteen kokoonpanoksi tai vastaavaksi elementtien kokonaisuudeksi, joiden rakennetta ajavat, tai ne ovat muodostuneet, yllä mainittujen tekijöiden kautta. Eräissä erityistapauksissa moduuli voi olla vaikkapa myös tuotteen yksittäinen osa tai komponentti. Tuotannon kannalta ajateltuna, vaikkapa loppukokoonpanoa ajatellen, alikokoonpanoa ei kuitenkaan aina välttämättä käsitetä moduulina sinänsä, vaan se on saattanut syntyä esimerkiksi rakenteeseen kokoonpanon monimutkaisuuteen rakenteen tuomaan ongelmaan liittyvänä ratkaisuna. (Österholm & Tuokko, 2001)

Tällainen erikoisratkaisu ei kuitenkaan ole ideaalinen ja johtaa usein käsitteiden sumenemiseen ja rakenteen hajoamiseen. Tavoitteena on että moduulien väliset vuorovaikutukset rajapintojen kautta saataisiin mahdollisimman yksinkertaisiksi. Eräs tapa tähän on pyrkiminen tuotteen fyysisen ja toiminnallisen rakenteen vastaavuuteen moduulitasolla. Tuotteen moduulien tulisi vastata siis yhteen tai useampaan toimintoon siten, että toiminnot eivät jakaudu useiden eri moduulien välille. Tällöin voidaan modulaarisessa tuotteessa varioinnista syntyvät vaikutukset rajata koskemaan jotain yksittäistä tuotteen moduulia. Moduulien välisien riippuvuuksien järjeistäminen mahdollistaa myös moduulien itsenäisen ja tehokkaan rinnakkaissuunnittelun. Myös itse kokoonpanotyö voidaan rinnakkaistaa moduulikohtaisesti, jolloin läpimenoajat paranevat. (Österholm & Tuokko, 2001)



Kuva 4 Modulaarisuuden kautta kulkeva massaräätälöintiprosessi. (Kumar, 2004)

Modulaarisuus on siis olennainen osa onnistunutta massaräätälöintistrategiaa koska sen avulla (tuotannon jouston ja viiväistämisen myötä) on mahdollista asiakaskohtaisesti kustomoidun tuotteen valmistaminen ja toimittaminen asiakkaalle nopealla aikataululla, samalla kuitenkin menettämättä massatuotannosta saatavia etuja. Kumarin (2004) mukaan ilman modulaarisuutta ei kunnollista massaräätälöintistrategiaa voida edes toteuttaa. Erityisesti tämä näkökanta tulee ottaa huomioon kun kyseessä ovat toiminnallisuudeltaan tai ominaisuuksiltaan moniulotteiset tuotteet. (Kumar, 2004)

Kuva 4 esittää tilaus-toimitusprosessin modulaarisuuden ja sen ratkaisuvaryuden kautta esitettynä. Tähän kuuluvat spesifikaatiossa muodossa esitetyt asiakasvaatimukset ja niiden kuvausta vastaavat moduulit. Tilaus-toimitusprosessi alkaa yleisesti asiakkaan tuotespesifikaatiosta, eli konfiguraatiosta, ja päättyy lopulta konfiguroidun tuotteen toimittamiseen asiakkaalle tämän spesifikaation kautta.

Koko prosessin kulku voi olla hyvin dynaaminen, jossa vaiheet ovat tuotantoprosessiin soveltuvassa järjestyksessä eri tuotantoprosessien näkökantojen mukaisesti.

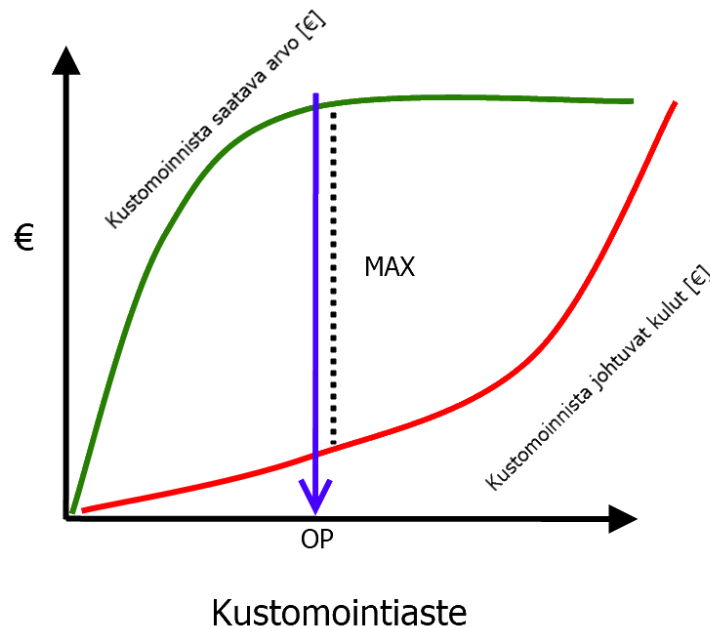
1. Asiakas konfiguroi tuotteen valitsemalla tuotteeseen saatavilla olevat optiot. Konfiguraattoriohjelmisto muodostaa spesifikaation automaattisesti. Konfiguraattorin säädetyt rajoitteet ja ehdot sulkevat pois vaihtoehtoja kun jokin valinta tuotteen ominaisuudesta on tehty, kaventaen näin ratkaisuavaruutta. Valintoja tehdessä ratkaisuavaruus kapenee kunnes tuote on täysin konfiguroitu.
2. Spesifikaatiosta tunnistetaan ja valitaan ne moduulit ratkaisuavaruudesta jotka vastaavat asiakkaan spesifikaatiossa esittämiä optioita.
3. Valitaan ne joustavat valmistusmenetelmät jotka soveltuvat valittujen moduulien valmistamiseen/ kokoonpanoon.
4. Luodaan aikataulu joka käynnistää moduuleja valmistavat prosessit vasta silloin kun riittävästi moduuleja on saatu kunkin prosessin alle, jolloin voidaan hyötyä massatuotannon antamasta kustannustehokkuudesta.
5. Esikoonatana valmistetut moduulit saapuvat loppukokoonpanon tuotantolinjalle, jossa lopullinen tuote kootaan.
6. Asiakasvaatimusten mukainen kustomoitu tuote toimitetaan asiakkaalle.

Vastaavasti konfigurointiprosessi voidaan yksinkertaistaa Brownin (Brown, 1998) mukaan kolmivaiheiseksi, jossa prosessi on pelkistetty kolmeen perusvaiheeseen ilman asiakasta. Prosessi on siis tyypistetty versio yllä kuvatusta ja esittää niin sanotun sisäisen version konfiguraatioprosessista.

1. Komponenttien valinta
2. Komponenttien välisten relaatioiden luominen
3. Komponenttien yhteensopivuuden ja spesifikaatiossa esitettyjen vaatimusten päämäärien täyttymisen arviointi

3.1.6 KUSTOMOINNIN JA VARIOITUVUUDEN RAJAT

Kumar esittää päätelmän että tuotteen kustomointi asiakkaan tarpeita ajatellen on kannattavaa vain tiettyyn rajaan asti. Kustomoinnille on siis olemassa jokin tietty määriteltävissä oleva optimitaso jolloin sen voidaan olettaa saavuttaneen kaikkein kannattavimman asemansa. Kuvan 1. (KA, €) -origossa voidaan kuvitella sijaitsevan täysin standardisoitun tuotteen, kun taas KA-akselilla positiiviseen suuntaan kuljettaessa sijaitsee täysin kustomoitu tuote. Kumarin mukaan voidaan olettaa että vaaka-akselilla edettäessä, eli tuotteen kustomointiasteen kasvaessa, kasvaa myös tuotteesta saatava arvo eli se lisäarvo, josta asiakas on valmis maksamaan jos tuote kustomoidaan hänen tarpeitaan vastaavaksi. (Kumar, 2004)



Kuva 5 Kustomoinnin optimiaste Kumarin mukaan. (Kumar, 2004)

Alussa arvon nousu voidaan olettaa jyrkäksi, mutta lopulta se tasaantuu, koska asiakas ei ole valmis maksamaan tuotteesta lisähintaa hänelle epäolennaisista kustomointivaihtoehtoista, jotka tuotteeseen voivat sisältyä. Myös kustomointikulut eli valmistuskustannukset tulevat nousemaan tuotteen kustomointiasteen kasvaessa jyrkästi. Tätä kulujen kasvua voidaan hillitä yrityksen massaräätälöintistrategian avulla (joka ottaa huomioon siis tuotannon joustavuuden, modulaarisuuden sekä varioinnin myöhäistämisen) mutta tätä voidaan tehdä vain tiettyyn kustomoinnin tasoon asti. Kustomoinnin tasolle on siis olemassa jokin tietty äärellinen taso ja nähdään että tuotteen kustomoinnin optimi (kuvasssa OP) on siis tällöin se taso, jolla arvo- ja kulukuvaajien välinen etäisyys muodostuu mahdollisimman suureksi. Tässä tilanteessa toiminta on taloudellisesti mahdollisimman kannattavinta. (Kumar, 2004)

Varioituvuuden huomioon ottava strategia lisää yrityksen kilpailukykyä koska yritys voi paremmin vastata asiakkaan tarpeisiin ja näin sitouttaa asiakkaat yrityksen tuotteisiin pitkällä aikavälillä. Tuoteominaisuuksien valikoima syntyy asiakastarpeisiin vastaamalla. Asiakastarpeita selvitettäessä ja tuotteen varioituvuutta mietittäessä on kuitenkin pidettävä mielessä että tarjotulla varioituvuudella on olemassa tietty yläraja. Kahnin mukaan se, kuinka paljon ulkoista tuotevariointia asiakkaalle tulee tarjota, riippuu yrityksen kilpailutilanteesta markkinoilla sekä siitä minkälaiset odotukset yrityksen asiakkailla on alan tuotteista. Liian suuri varioituvuus ja paisunut tuotetarjonta, joka johtuu usein siitä että jokaista asiakastarvetta on haluttu tyydyttää, voi muodostua siis yrityksen kehityksen jarruksi. (Kahn, 1998) Tällainen tilanne usein sellainen jossa ulkoisen variaation vaikutus sisäisen variaatioon (sellaisen joka ei näy asiakkaalle ja näkyy vain

tuotantoverkon sisäisesti) ei ole lähellä asiakasta tai tuotetta kokonaisuutena. (Huhtala & Pulkkinen, Tuotteen, prosessin ja verkon tasapainoinen tarkastelu, 2009)

Kahnin ja Kumarin esittämä varioituvuuden sudenkuoppa syntyy usein silloin, jos asiakkaan kokema tuote- tai ominaisuusvalikoiman luokat eivät ole selvästi kategorisoitu jolloin niitä on vaikea erottaa toisistaan. Tällöin niissä koetaan olevan paljon tarpeettomia ominaisuuksia tai päällekkäisyyksiä. Jos tuoteyksilöiden tai niiden välisten ominaisuuksien välillä on hankala huomata eroja, päätösten tekeminen muodostuu hankalaksi koska tarjottu valikoima koetaan kapeaksi, vaikka todellisuudessa tarjolla olisikin useita erilaisia malleja. (Desmeules, 2002)

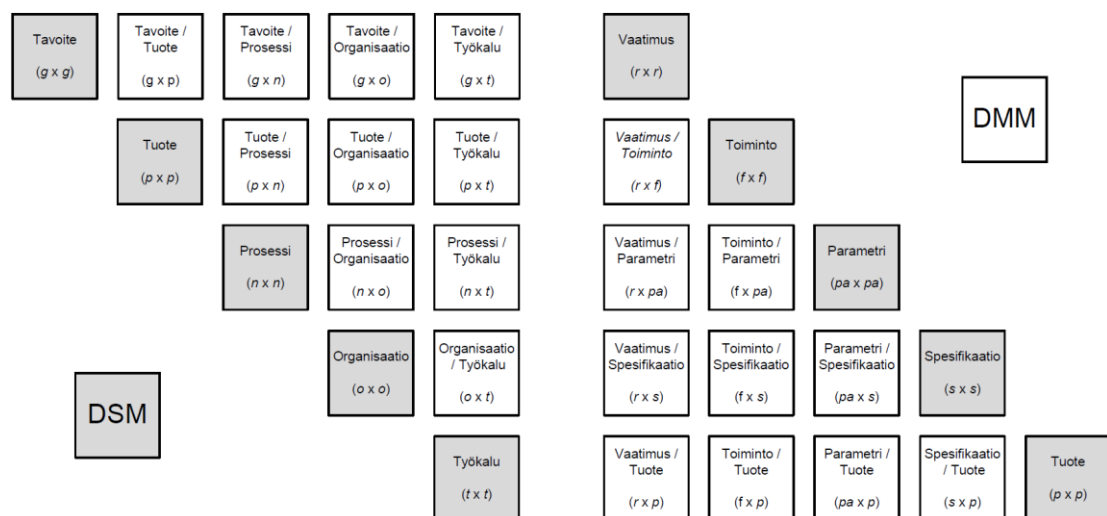
3.2 MONIMUTKAISTEN SYSTEEMIEN MALLINNUKSEEN SOVELTUVAT MENETELMÄT

3.2.1 YLEISET MATRIISIMENETELMÄT

Monimutkaisten systeemien mallintamiseen soveltuvia työkaluja ovat muun muassa DSM-, DMM- ja MDM-matriisit. Alun perin Donald Stewardin kehittämä riippuvuus-matriisi, joka nykyisin tunnetaan DSM-matriisina (eng. Design Structure Matrix) on neliömatriisi, joka kuvaa alkioiden väliset riippuvuussuhteet järjestelmän sisällä ja sitä voidaan käyttää esimerkiksi tuoterakenteen modulaarisuuden tarkasteluun.

DMM-matriisi (eng. Domain Mapping Matrix) kuvaa taas alkioiden väliset liittynät eri järjestelmien välillä ja ei siis välttämättä muodostu neliömatriisiksi, koska eri järjestelmissä alkioiden määrä, ja näin ollen myös matriisien rivien ja sarakkeiden määrä, ei ole välttämättä sama.

Kuva 6 esittää MDM-matriisin (eng. Multiple Domain Matrix) joka latoo DSM- ja DMM-matriisit yhteen kokonaismatriisiin. Kokonaismatriisissa DSM-matriisit sijoitetaan lävistäjä-alkioihin ja DMM-matriisit voidaan sijoittaa joko lävistäjäalkioiden ylä- tai alapuolelle sovituista merkkisäännöistä riippuen.



Kuva 6 Design Structure Matrix ja Domain Mapping Matrix domaineja kartoitettuna eri järjestelmien ja niiden välisten mahdollisten kytkentöjen kautta, jolloin muodostuu Multiple Domain Matrix. (Danilovic & Browning, 2007)

MDM-matriisin avulla systeemi voidaan kuvata eri domainien avulla; jolloin tuotteen komponenttien, dokumenttien sekä ihmisten välillä olevat sisäiset ja ulkoiset vuorovaikutukset voidaan mallintaa matriiseihin. Tämän jälkeen mallia voidaan analysoida ja voidaan muodostaa myös systeemin graafikuvaus (Kuva 9) joka voi myös osaltaan helpottaa kokonaisuuden hahmottamista.

Matriisimenetelmien käyttö on sinänsä yksinkertaista oppia johtuen niiden yksinkertaisesta täyttölogiikasta. Lehtosen esittää kuitenkin tuotteen modulaarisen tuoterakenteen kehittämisimerkin kautta, että menetelmä ei itsessään ohjaa yksikäsitteiseen rat-

kaisuun. Työkaluna matriisimenetelmät toimivat vain lisäapuna. Menetelmistä saatujen tuloksien analysointi ilman tarkasti asetettuja mittareita voi olla haasteellista. Matriisimenetelmät vaativat myös paljon yksityiskohtaista tietoa järjestelmien alkioista ja erityisesti näiden välisistä kytkennöistä. Matriisimallin tulee olla siis tarpeeksi kattava jotta se kattaa tarkasteltavan ongelman kaikki näkökohdat. Tällöin riskinä kuitenkin on, että malli muodostuu hyvin nopeasti raskaasti käsiteltäväksi domainien ja alkioiden määrän kasvaessa. Systeemimallien ongelmaksi muodostuu siis mallinnusmenetelmän skaalattavuus. (Lehtonen, 2007) s.56 (Danilovic & Browning, 2007)

3.2.2 KONFIGUROINNIN MÄÄRITELMÄ

Brownin (Brown, 1998) mukaan tuotteen konfiguraatio muodostuu suunnitteluelementtien ja näiden elementtien välisten relaatioiden kautta. Elementteinä voidaan pitää osia, kokoonpanoja ja moduuleita sekä muita vastaavia tuotteen osakokonaisuuksia. Verbinä konfigurointi viittaa konfiguraation muodostumiseen, joka tapahtuu joko manuaalisesti tai automaattisesti. Manuaalinen konfigurointi vaatii konfiguroijan kun taas automaattinen konfigurointi tapahtuu tarkoitukseen suunnitellun ohjelmiston avulla, joka voi olla integroituna PLM-ohjelmistoihin tai toimia joko itsenäisenä sovelluksena. (Pulkkinen, 2007)

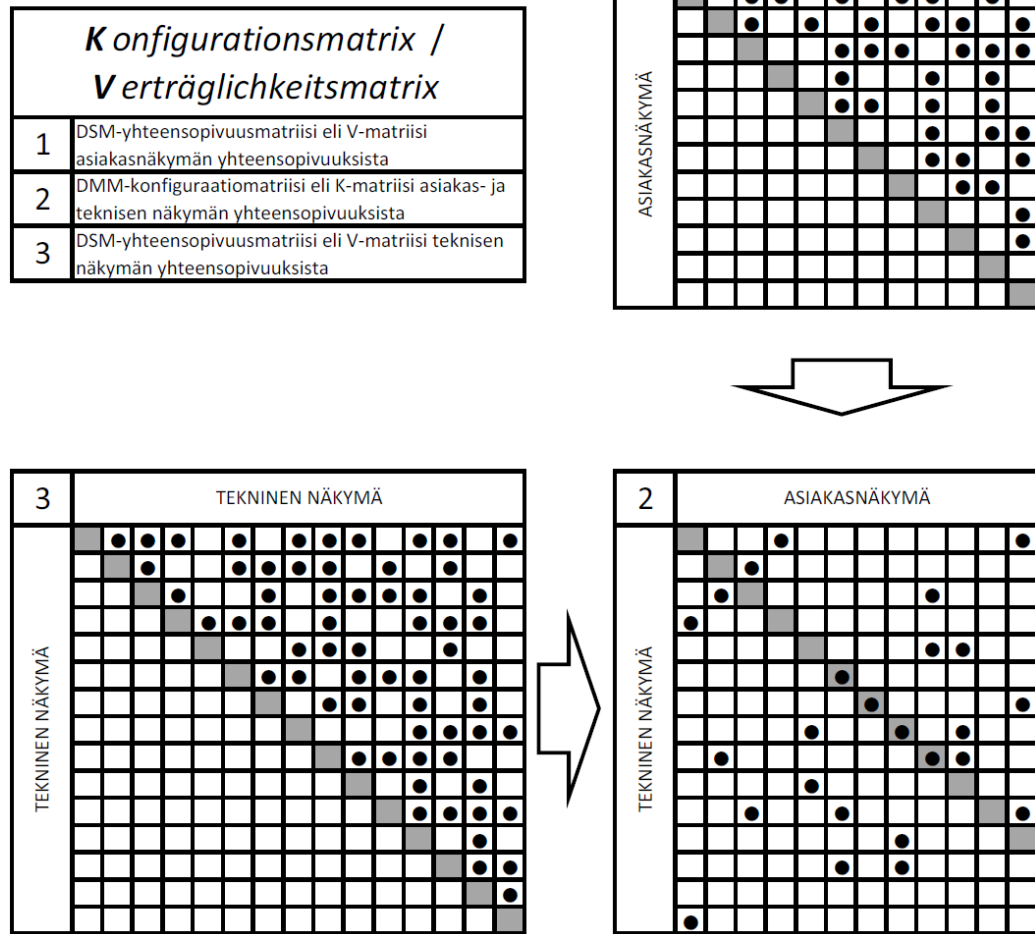
Konfiguraation muodostaminen manuaalisesti on työläs, aikaa vievä ja virheille altis prosessi. Se vaatii konfiguroijalta ammattitaitoa muodostaa tilausta vastaava tuoterakenne nopeasti ja virheettömästi. Tästä johtuen henkilö joka muodostaa konfiguraation manuaalisesti on yleensä tuoterakenteesta päättävällä vastaava henkilö. Automaattinen konfigurointi virtaviivaistaa konfigurointiprosessia huomattavasti, koska konfiguroinnin väliset relaatiot (säännöt, rajoitteet, ehdot, yms) ja tuotelementit on sisällytetty konfiguraattoriin. Tällöin virheiden esiintyminen tuotteen valmiissa konfiguraatiossa on lähes olematon. Automaattinen konfigurointiprosessi ei myöskään vaadi välttämättä tuoterakenteen syvintä tietämystä vaativaa ammattitaitoa jolloin konfigurointi voidaan jopa ulkoistaa itse asiakkaalle.

3.2.3 KONFIGUROINNIN MATRIISIMENETELMÄ, K- JA V-MATRIISIT

Yllä kuvattujen DMM- ja DSM-matriisien periaatteisiin perustuen ovat Bongulielmi ja Puls kehittäneet K- ja V-matriisimenetelmän jota voidaan hyödyntää myynnin tuotekonfiguroinnissa. Menetelmän avulla muunneltavien ja modulaaristen tuotteiden konfiguraatietieto voidaan dokumentoida yksinkertaisella matriisiperustaisella kuvauskielellä. Menetelmä koostuu kahdesta matriisityypistä jotka ovat *Verträglichkeitsmatrix* eli vertailumatriisi, sekä *Konfigurationsmatrix* eli konfiguraatiomatriisi. Nämä matriisit hallitsevat eri määrittelyalueiden välisiä, sekä niiden sisäisiä yhteyksiä. Näitä yhteyksiä voivat olla toimitusverkon sisäiset variaatiot, sekä ulkoiset, asiakkaan kokemat variaatiot. Määrittelyalueet ovat usein näkymiä tuotteesta eri näkökannoilta jolloin myynnin, suunnittelun tai tuotannon näkemys tuotteesta saadaan esiin. Konfiguraatiomatriiseilla (K-matriisi) voidaan mallintaa määrittelyalueiden välisiä yhteyksiä, jolloin niitä voidaan pitää DMM-matriisien kaltaisina. Yhteensopivuusmatriisi (V-matriisi) mallintaa taas yksittäisen määrittelyalueen sisäiset riippuvuudet, jolloin ne kappaleessa 3.2 kuvattujen määritelmien mukaisesti luetaan DSM-matriisien joukkoon. Matriisimenetelmän kehittämisen perustavoitteena on ollut tuotteen kuvaaminen eri organisaatioiden näkökulmista samalla mallintaen näiden näkökulmien välisiä relaatioita.

(Huhtala & Pulkkinen, Tuotteen, prosessin ja verkon tasapainoinen tarkastelu, 2009)

K- ja V-matriisimenetelmä soveltuu integroitavaksi eri sovelluksien sisälle, kuten tuotetiedonhallintaan tai tuotannonhallintajärjestelmiin. Matriisimenetelmän systematiikan ja sääntöjen perusteella voidaan rakentaa myös täysin itsenäinen konfiguraattorisovellus joka perustuu K- ja V-matriisitietokantoihin.



Kuva 7 Bongulielmin ja Pulsin K- ja V-matriisimenetelmä. (Huhtala & Pulkkinen, Tuotteen, prosessin ja verkon tasapainoinen tarkastelu, 2009)

Kuva 7 esittää K- ja V-matriisimenetelmän joka sisältää tavanomaisesti kolme eri matriisinäkymää. V-matriisien eli yhteensopivuusmatriisien määrittelyalueina toimivat asiakkaan näkymä (1) sekä tuotteen tekninen näkymä (3), jotka muodostavat yhdessä K-matriisin (2) eli konfiguraatiomatriisin. K-matriisi kuvaa sitä, miten tietyt moduulityypit ja asiakasvaatimukset vastaavat toisiaan. Koska V-matriisit ovat symmetrisiä DSM-neliömatrisiä, niiden täyttäminen on tarpeen vain lävistäjäalkioiden ylä- tai alapuolelta, kulloinkin sovitusta merkintätavasta riippuen. Kuten kuvasta nähdään, koska K-matriisi muodostetaan asiakasnäkymän matriisisin sarakkeista ja teknisen näkymän matriisin riveistä, K-matriisi ei ole symmetrinen eikä neliömatrisi, muutoin kuin siinä erityistilanteessa, jossa asiakasnäkymän ja teknisen näkymän matriirisien rivi- en/sarakkeiden määrä on yhtäsuuri.

K- ja V-matriiseja käytetään kypsiin tuoteperheisiin eli niiden avulla dokumentoidaan yrityksen jo hallussa oleva muuntelu- eli konfiguraatietietämys yrityksen nykyisistä

tuotteista. Tuotekehityksen alkuvaiheessa matriisimenetelmää ei siis tavallisesti käytetä. (Huhtala & Pulkkinen, Tuotteen, prosessin ja verkon tasapainoinen tarkastelu, 2009)

3.3 DOKUMENTAATION LIITYNNÄT PROSESSEIHIN, KONFIGUROITAVUUTEEN SEKÄ TIEDON TYYPPEIHIN

3.3.1 TIEDON TYPOLOGIA

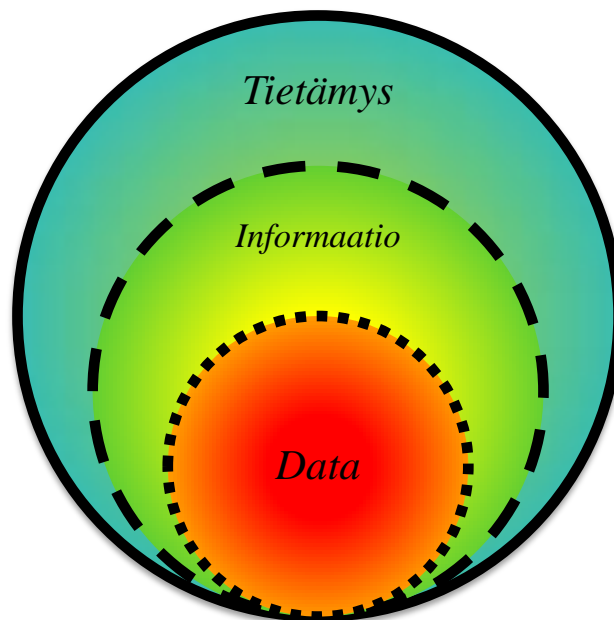
Tiedosta käsitteellisellä tasolla puhuttaessa on järkevää muodostaa ensin tietynlainen tiedon typologia, eli tiedon luokittelujärjestelmä, jonka avulla se voidaan luokitella siihen sisältyvien erilaisten ominaisuuksien mukaan. Aineettoman tiedon käsitteestä, joka saattaa olla monelle abstrakti asia, voi olla vaikea tunnistaa niitä ominaisuuksia mitä tieto itsessään pitää sisällään, missä se piilee tai mistä lähteistä se kumpuaa. Marques et al tekemä tutkimus (Marques et al, 2006) tunnistaa bioteknologia- ja tietoliikennealan yritysten eräitä tietämyksen piirteitä ja ominaisuuksia:

- yritysten tieto on moninaista ja syvällistä
- yritykset käyttävät sekä sisäisiä että ulkoisia tietolähteitä hyväkseen
- yritykset tunnistavat ja hankkivat tietoa sekä jakavat sitä eteenpäin
- yritykset osaavat analysoida tietoa sekä arvioida osaamistaan
- yritykset hallitsevat järjestelmiä jotka mahdollistavat tiedon tallentamisen, jakamisen ja uudelleenkäytön
- yrityksellä on tietoa markkinoista, asiakkaista ja kilpailijoista, sekä nykyisistä että potentiaalisista
- yrityksillä on tietoa alihankintaverkostosta ja arvoketjuista
- yrityksillä on tietoa lainsäädännöstä ja asetuksista, taloudesta ja rahoituksesta
- yrityksellä on tietoa immateriaalioikeuksista (IPR), sekä omista että kilpailijoiden
- yrityksellä on tietoa menetelmistä, dokumentaatiosta, organisaatioista ja monilaisista työryhmistä ja projekteista

Jokainen näistä tiedon piirteistä edistävät yrityksen henkisen omaisuuden hyödyntämistä eri tavalla. Osaltaan näin ne myös lisäävät innovatiivisen toiminnan tehokkuutta yrityksissä. Tutkimuksen yhteenvetona on, että yksilöiden, ryhmien ja menetelmiin sisältyvän hiljaisen tiedon avulla on mahdollista hyödyntää sitä konkreettisempaa tietämystä mikä sisältyy yrityksen tutkimukseen ja kehitystoimintaan ja sen tuottamiin immateriaaliomaisuuteen. Näitten kautta edelleen kehittyvät käytännöt ja menetelmät joilla voidaan pararemmmin ja tehokkaammin hyödyntää ulkoisia tiedonlähteitä. (Tidd & Bessant, 2009)

Bessant ja Tidd esittävät määritelmän tiedosta seuraavan hierarkisen jaottelun mukaisesti, jossa tiedolla on kolme eri tyyppiä ja ne liittyvät toisiinsa seuraavasti: (Tidd & Bessant, 2009)

- Ensimmäinen tiedon taso on *data*. *Dataksi* voidaan kutsua sitä tiedon tyyppiä johon kuuluvat numerot, sanat, tallenteet tai muut diskreetit tallennetut havainnot. Erityisesti kaikki se tieto joka voidaan helposti organisoida, tallentaa ja edelleen manipuloida eri työkalujen avulla luokitellaan dataksi.
- Toinen tiedon taso on *informaatio*. Informaatiolla tarkoitetaan *dataa* joka on organisoitu, jaoteltu tai muuten kategorisoitu muotoon joka seuraa jotain rakenteellista sääntöjä tai kaavaa. Rakenne voi olla kategoriaperusteinen tai laskennallinen kokonaisuuden summa tai jonkinlainen muu synteesi, mikä datasta on mahdollista muodostaa. *Informaatio* on siis *dataa* jolla on lisäarvoa, joka syntyy siis siitä, että se on organisoitu jonkinlaisen mallin mukaisesti.
- Kolmas tiedon taso on *tietämys*. Se on *informaatiota* jolle on luotu viitekehys, se on oleellista *informaatiota*, sellaista jolla on jokin tarkoitus ja jota on helppo määrittää eri tavoilla. Viitekehys jonka avulla *informaatio* muuntuu *tietämykseksi* syntyy tekemällä vertailuja, tunnistamalla informaation ristiriitoja sekä mallintamalla näiden relaatiot sekä pääättelemällä näiden avulla mitä seuraamuksia *informaatio* vihjaa tapahtuvan. *Tietämys* on siis tiedon tasoista syvin ja rikkain, koska se sisältää asiantuntemuksen, kokemuksen ja niihin liittyvät arvot sekä oivallukset.



Kuva 8 Tiedon typologia Bessant ja Tidd mukaan.

Tiedon typologia on siis kuvan 2. mukainen kerrostunut malli, jossa *tietämys* on tiedon monimutkaisin tyyppi johon *data* ja *informaatio* implisiittisesti sisältyvät. Data ja in-

formaatio ovat siis eräänlaiset tietämyksen raaka-aineet tai rakennuspalikat. Ylimmällä tasolla oleva tietämys jakaantuu edelleen kahteen eri tyyppiin riippuen niistä ominaisuuksista joita se voi pitää sisällään: (Tidd & Bessant, 2009)

- *Eksplisiittinen tietämys* on sellaista, jota voidaan edelleen koontaa yhteen numeerisesti, tekstein tai graafisesti. Tästä seuraa se, että se soveltuu hyvin kommunikoimaan eli kuvaamaan kulloinkin kyseeseen tulevan tietämyksen sisältöä eteenpäin. Esimerkkinä *eksplisiittisestä tietämyksestä* voi näin olla vaikkapa jonkin tuotteen rakenteen kuvaus.
- *Implisiittinen tietämys* on sellaista, joka on henkilökohtaista, kokemukseen perustuvaa tai jotain, joka liittyy johonkin, eli sillä on aina jokin konteksti. Implisiittiselle tietämykselle on ominaista myös se, että sitä on hankala laatia pätevään muotoon eli saada sen kuvaus sellaiseen muotoon että sen sisältöä olisi helppo kommunikoida eteenpäin. Esimerkki implisiittisestä tietämyksestä voi olla miten polkupyörällä pysytään pystyssä ajon aikana.

Bessant ja Tidd selventävät yllä olevan tietämyksen eroja lisäämällä että jakoa *implisiittisen* ja *eksplisiittisen* tietämyksen välillä ei välttämättä tule tehdä sen perusteella kuinka monimutkaiseksi tietämys koetaan, vaan jaon tulee perustua siihen, kuinka helppoa tietämystä on kodifioida, kuvata ja kommunikoida eteenpäin.

Blacklerin esittämä tietämyksen typologia käsittää viisi eri tietämyksen tyyppiä jotka ovat: (Blacker, 1995)

- *Käsitteellinen tietämys* (eng. *embrained knowledge*) joka liittyy yksilön kognitiivisiin kykyihin sekä käsitteellisiin taitoihin ja korostaa käsitteellisen tietämyksen arvoa.
- *Toiminnallinen tietämys* (eng. *embodied knowledge*) joka liittyy yksilön kykyyn ratkaista ongelmia. Tämän tyyppinen tietämys on siis aina johonkin toimintaan liittyvää ja sillä on aina hyvin vahva konteksti eli asiayhteys, johonkin ratkaistavaan ongelmaan liittyvä.
- *Akkulturoitunut tietämys* (eng. *encultured knowledge*) liittyy yhteisymmärrykseen ja miten se voidaan saavuttaa yksilöiden välillä. Tämän tyyppinen tietämys rakentuu sosiaalisesti ja neuvottelemalla, sekä akkulturaation eli kulttuurien välisen sulautumisen ja sopeutumisen kautta.
- *Sulautettu tietämys* (eng. *embedded knowledge*) sisältyy prosesseihin ja rutineihin. Tietämys kuvaa resurssit ja roolien väliset relaatiot, menettelytavat sekä käytettävissä olevat teknologiat. Tämän tyyppinen tietämys liittyy siis organisaation kyvykkyyteen, valmiuksiin ja osaamiseen.
- *Kodifioitu tietämys* (eng. *encoded knowledge*) on verrattavissa Bessant ja Tidd esittämään *datan* määritelmään ja on Blacklerin mukaan symboleita, merkkejä, suunnitelmia, piirustuksia, ohjeita tai muita vastaavia tallenteita.

Bessant ja Tidd esittävät tämän lisäksi Blacklerin listaan myös kuudennen tietämyksen tyyppin, joka on yriksen hyödykkeisiin liittyvä tietämys (eng. *commodified knowledge*). Tämä tietämyksen tyyppi kuvaa organisaation tuotoksia jotka käsitetään usein tuotteiksi tai palveluiksi kun puhutaan yrityksistä. Teollisuusyritysten tapauksessa tämä tietämyksen tyyppi on yleensä painoarvoltaan voimakkain jonka kautta yritys tulee toimeen. Bessant ja Tidd muistuttavat että alan kirjallisuudessa käsitellyt tiedonhallinnan teoriat keskittyvät tietoon itsetarkoitukselliselta näkökannalta katsoen. Tiedonhallinta itsessään oletetaan olevan siis se päämäärä, johon teorian oletetaan vastaavan. Todellisuuden raadollisessa kapitalistisessa maailmassa toimittaessa, eli voittoa tavoittelevan yrityksen näkökannalta, tieto itsessään on vain keino saavuttaa jokin yrityksen organisationaalinen päämäärä tehokkaammin tai kannattavammalla tavalla. Tieto ja sen hallinta eivät siis ole itsetarkoitus johon yritys pyrkii tavanomaisesta teollisuudesta puhuttaessa. (Tidd & Bessant, 2009)

Mitään yllä mainituista tietämyksen typeistä ei siis sinällään voi asettaa mihinkään tärkeysjärjestykseen, vaan jokainen niistä voi olla olennainen yrityksen toiminnassa, riippuen organisaation tai ympäristön asettamista tarpeista. Tiedon oppimisesta puhuttaessa, tulee kuitenkin tunnistaa oppimisen taustalla olevat syyt. Onko kyseessä tilanne jossa oppimisen halu syntyy siitä miksi jokin asia toimii, vai onko kyseessä tilanne jossa kiinnostus ongelman ratkaisemiseen voi olla miten jokin tietty periaate voidaan soveltaa? (Tidd & Bessant, 2009)

Tilanteessa jossa oppimisen taustalla syynä on selvittää *miten* jokin tai jotain tapahtuu, oppimistilanne käsittää olemassa olevien opittujen taitojen hyödyntämistä ja harjoittamista. Jos taas oppimisen taustalla on syynä selvittää *miksi* jotain tapahtuu, pitää tällöin ymmärtää ilmiön taustalla vaikuttavat perimmäiset syyt ja kausaaliset tekijät (eli syy- ja seuraussuhteet), sekä löytää ehkä uusia tuntemattomia kytkentöjä jo käytettävissä olevan tietämyksen asiayhteyksien välille. Kuten tietämyksenkään tapauksessa mainittiin, kumpaakaan näistä oppimisen syistä ei voida asettaa tärkeysjärjestykseen, vaan kumpikin syy on soveltuva eri oppimistilanteissa. Jos oppimisen taustalla on tärkeää huomioida laatu ja nopeus, on silloin järkevää oppimisen perimmäisenä syynä olla *miten* joku toimii. Jos taas pitää soveltaa taitoja ja osaamista jossain uudessa asiayhteydessä, on silloin parempi näkökanta oppimiseen oltava *miksi* jokin toimii, kuten se toimii. (Tidd & Bessant, 2009)

Taulukko 9 Tehtävät, organisaation konteksti ja tietämyksen tyypit. (Blackler, 1995)

Organisaation konteksti	Kollektiivinen	Sulautettu (Tehdas)	Akkulturoitunut (Suunnittelutoimisto)
	Yksilömäinen	Toiminnallinen (Sairaala)	Käsitteellinen (Ohjelmistotalo)
		Rutiini	Uuden keksiminen
Työympäristön tyyppi			

Miten oppiminen tapahtuu organisaatiossa ja miten se liittyy yksilössä tapahtuvaan oppimisprosessiin? Organisaatio itsessään ei opi mitään vaan oppiminen tapahtuu siinä olevien ihmisten kautta. Blackler esittää neljä organisaation konfiguraatiota (Taulukko 9) jossa organisaation ja yksilön oppimisen yhteydet kuvataan. Viitekehyksen mallina käytetään yksilön tietämyksen ja kollektiivisen tietämyksen välistä ulottuvuutta sekä rutiinin ja uniikin tehtävän välistä ulottuvuutta. Tähän matriisiin sijoitetaan Blacklerin esittämät työympäristön ja organisaation puitteissa ajatellut tietämyksen tyypit. Tämä viitekehys hajottaa hämärän ”tietotyöläisen” käsitteen, joka ei siis ota huomioon eri tiedon tasoja, ottaen samalla kanta siihen minkälainen tietämys on tarpeellista eri ympäristöissä. (Tidd & Bessant, 2009)

Se, minkälaisen tietämyksen voidaan ajatella olevan se tärkein tekijä jonka avulla yritys menestyy, riippuu siis organisaatiokulttuurista ja siitä kontekstista missä yritys toimii, onko yrityksessä tehtävä työ rutiininomaista vai onko tarkoituksena saada aikaan jotain ennennäkemätöntä? Blacklerin viitekehys ohjaa näkemystä yrityksen toiminnasta siten, että jos yritys toimii ympäristön asettamien epävarmuuksien vallitessa, siis silloin kun tarkoitus luoda jotain ennennäkemätöntä, käsitteellinen sekä akkulturoitunut tietä-

mys muodostuu merkityksellisemmäksi kuin sulautettu tai toiminnallinen tietämys. Karkeasti yleistäen pienet ja notkeat aloitekykyiset yritykset käyttävät siis paremmin hyväksi käsitteellisempään tietämykseen kun taas suurempi ja vakiintuneempi yritys toimii enemmän akkulturoituneeseen tietämyksen varassa.

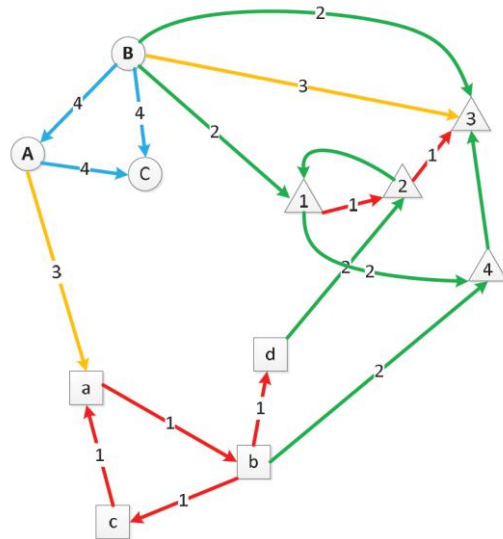
Tietämys ilmenee eri tyypeinä, implisiittisesti sekä eksplisiittisesti, yksilöissä, kulttuureissa, rutiineissa, työkaluissa, teknologioissa, prosesseissa sekä järjestelmissä. Menestymisen edellytyksenä on siis osata kerätä, hallita, hyödyntää ja jakaa tätä sirpaleista tiedon kokonaisuutta kokoamalla nämä informaation saarekkeet yhteen jotta yhteinen kuva järjestelmästä voidaan muodostaa.

3.3.2 JÄRJESTELMIIN SISÄLTYVIEN TIETOALKIOIDEN RELAATIOT

Yrityksen toimintamalli, strategia tai viitekehys systeemin järjestelmän osina voidaan abstrahoida joukoksi, jonka alkiot ovat ne useat erilaiset tietämyksen (tietämyksen tyypeistä kappaleessa 3.3.1) elementit, jotka muodostavat yrityksen käytössä olevien resurssien kokonaisuuden. Joukon sisältämät alkiot voidaan jakaa edelleen eri osajoukkoihin eri näkökantojen perusteella. Jako voidaan tehdä esimerkiksi organisaatiotasojen tai osastojen perusteella.

Tuoterakenteen sisältyvän informaation kannalta ajateltuna näkökannaksi voidaan määritellä, että määrittelyjoukko käsitetään sirpaloituneeksi kokonaisuudeksi implisiittisiä sekä eksplisiittisiä tietoalkioita, jotka sijaitsevat erilaisten järjestelmien sisällä. Järjestelmillä, joita voidaan kutsua myös domaineiksi, tarkoitetaan tässä tapauksessa eri tietojärjestelmiä (CAD, ERP, PDM, CRM, ...), yrityksen eri osastoja, niissä työskenteleviä ihmisiä ja heidän toimialojaan. Yksittäisen järjestelmän sisäiset riippuvuussuhteet, esimerkiksi jos tarkastellaan PDM-järjestelmää, voivat syntyä siis tuoterakenteeseen sisältyvien komponenttien eli moduulien, kokoonpanojen ja osien rajapinnoista, jotka on valmiiksi määritelty tuoterakennetta PDM-järjestelmään mallinnettaessa. Ihmisjoukon domainin riippuvuussuhteet voidaan käsittää taas ilmenevän valmiina riippuvuussuhteiden verkostona yrityksen organisaation kytkennöistä.

Systeemitasolla mallinnettaessa järjestelmien väliset riippuvuussuhteet voivat toimia alkioden välillä kumpaakin suuntaan. Systeemin mallintamisen pääajatuksena onkin että yhteydet voivat toimia domainien rajapintojen yli (Maurer & Lindemann, 2008). Riippuvuussuhteet voivat olla esimerkiksi tuotetta ajatellessa alkioden välisiä energian, materiaalin tai signaalivirtoja Pahl & Beitzin mukaisesti eli modulaarisen tuoterakenteen tapauksessa riippuvuussuhteet voivat syntyä vaikkapa kyseisistä moduulien rajapintojen välisistä virroista. Kuvassa 3. esitetään edellä kuvattu tapaus verkkokuvauksen eli graafin avulla. Systeemi koostuu kolmesta eri domainista eli järjestelmästä. Niihin sisältyvät alkiot kuvataan kolmen eri geometrisen kuvion avulla eli joukkoina: $\{1, 2, 3, 4\} \in \Delta$, $\{a, b, c, d\} \in \square$ ja $\{A, B, C\} \in \circ$. Alkioden väliset kaaret kuvaavat vuorovai-
kutussuhteen suunnan ja tyyppin järjestelmän/domainin/joukon sisällä sekä niiden välillä.



Kuva 9 Systeemitason kuvaus eri elementeistä ja niiden välisistä vuorovaikutuksista Maurer ja Lindemann mukaan. Nuolet kuvaavat alkioiden välisen riippuvuussuhteen suunnan ja suhteen tyyppi kuvataan numerolla. (Maurer & Lindemann, 2008)

Yleensä näitä domainien sisäisiä tai ulkoisia riippuvuussuhteita ei ole dokumentoitu vaan ne pitää päätellä epäsuorasti niin sanotun hiljaisen tiedon kautta. Kokonaiskuvan saaminen yrityksen tuotteista, tuoterakenteesta ja siihen liittyvistä prosesseista saattaa muodostua siis hankalaksi vain yksittäisen järjestelmän kautta tietoa tarkastellessa koska sovellusten tarjoamat näkymät eivät tarjoa riittävän selkeää kokonaiskuvaa tilanteesta systeemitasolta katsoen. Erityisesti tämä on hankalaa asiakasvarioituvien tuotteiden suhteen. (Hvam;Mortensen;& Riis, 2008) (Harlou, 2006) Näin ollen myös tuoterakenteen piilevät ongelmat ja tehottomuudet saattavat jäädä havaitsematta tai ongelmakohtia on hankala tunnistaa, vaikka vaikutukset voidaankin tuntea.

Hvam et al (Hvam;Mortensen;& Riis, 2008) esittävät konfiguroitaviin tuotteisiin siirryttäessä seuraavat kriittiset tekijät johon onnistuneen konfiguraatioprojektin takaamiseksi yrityksen on kiinnitettävä huomiota:

- Onko tuotevalikoiman modulaarisuus riittävällä asteella konfiguraatiojärjestelmän tarpeita ajatellen?
- Mikä osa tuotevalikoimasta halutaan ja on järkevää sisällyttää konfiguraatiojärjestelmän piiriin?
- Miten muodostaa yhtenäinen kokonaiskuva tiedosta joka on jakaantunut eri järjestelmien ja ihmisten välisiksi tiedonpalasiksi?
- Millainen tuotetiedon jäsentely tukee parhaiten järjestelmän ylläpitoa ja käyttöä?
- Miten taataan konfiguraatiojärjestelmään mallinnetun tiedon laatu ja käytettävyyys, kuka määrittää vaatimukset tiedolle ja kuinka yksityiskohtaista sen tulee olla?

Aikaisemmin mainittu tuotekehitystyön jako tilauskohtaiseen suunnittelutyöhön ja tilauksista itsenäisen suunnittelutyöhön pätee myös spesifikaatioiden tuottamiseen. Tämä on toisaalta itsestään selvää, koska suunnittelutyön tuloksena on usein dokumentaatiota, jotka määrittävät tuotteen eli spesifioivat sen. Tilauskohtaisesti itsenäisiä spesifikaatioita joita tuotetaan voivat olla esimerkiksi moduulikuvaukset ja niiden rajapintojen määrittymiset tai suunnittelu- ja mallinnusohjeet. Tilauskohtaisia spesifikaatioita voivat olla tekniset piirustukset osalistoineen, kokoonpano-ohjeet tai huoltokirjat. (Hvam;Mortensen;& Riis, 2008)

Näitä dokumentteja ei sinänsä sisällytetä konfiguraatiomalliin suoraan, koska ne eivät tuo lisäarvoa sinällään tilaus-toimitusprosessiin asiakkaan kannalta. Yrityksen sisäiseltä kannalta ajateltuna on kuitenkin järkevää jos yrityksellä, organisaatiolla ja sen yksittäisillä työntekijöillä on yhtenäinen kuva yrityksen tuotteista. Nykytilanne muodostuu usein sellaiseksi että yrityksen eri osastojen tietojärjestelmät pitävät sisällään useaa eri tyyppistä informaatiota tuotteista ja niihin implisiittisesti sisältyvästä tiedosta, tämä informaatio ei kuitenkaan usein keskustele keskenään. (Hvam;Mortensen;& Riis, 2008) (Schwarze, 1996)

3.3.3 PROSESSIT, KONFIGUROIINTI JA SPESIFIKAATIOT

Yrityksen toiminnan tehokkuuden kannalta tulisi osata erottaa prosesseina toisistaan tuotteeseen liittyvä kokonaisvaltainen, pitemmälle aikavälille tähtäävä tuotekehitystyö, sekä tilauskohtainen yksittäiseen tuoteyksilöön liittyvä suunnittelutyö. Tämä näkökanta on huomioitava yrityksen strategiassa varsinkin silloin, jos tavoitteena on siirtyä massaräätälöityyn tuotantoon joko tilauskohtaisen- tai sarjatuotannon suunnalta. (Hvam;Mortensen;& Riis, 2008) s.35

Tilauskohtaisen suunnittelutyön tavoitteena on hakea ratkaisua tuotteen toiminnallisuuteen tai ominaisuuteen liittyen asiakkaan tilauksessa esittämien vaatimusten perusteella. Nämä vaatimukset esiintyvät usein spesifikaation muodossa, jonka tarkoitus on yksikäsitteisesti kuvata asiakkaan tarpeet tuotteen osalta. Suunnittelun työn tulos on myös spesifikaatio joka määrittelee tuotteen eri tavoilla jäsennellyn tiedon avulla, joita voivat olla CAD-mallien, kaavioiden tai piirustusten muodossa. (Hvam;Mortensen;& Riis, 2008)

Hvam esittää että spesifikaatio voidaan käsittää eri ihmisryhmien välisessä kommunikaatiossa käytettävän yksikäsitteiseksi tulkittavan tiedon, tarpeen tai menetelmän kuvaukseksi. Spesifikaatio voidaan ajatella olevan siis vaikkapa tekninen piirustus, valmistukseen liittyvä työohje tai kuvaus tuotteeseen sisältyvistä ominaisuuksista. Yllä olevasta spesifikaation määritelmästä voidaan perustellusti tehdä se johtopäätös, että käytännössä useimmissa käyttötapauksissa spesifikaatio käsitetään dokumentiksi tai kokoelmaksi dokumentteja. Standardissa Dokumenttien hallinta osa 1: Periaatteet ja menetelmät (SFS-EN 82045-1, kohta 3.2.3) esitetäänkin Hvamin spesifikaatiota vastaava dokumentin määritelmä:

”Kiinteä ja jäsennelty informaation määrä, jota voidaan hallita ja vaihtaa yksikköinä käyttäjien ja järjestelmien välillä”

Tuotetta kuvaavien dokumenttien hallinta nousee sitä oleellisempaan asemaan mitä suuremmaksi yrityksen volyymi ja tuotevalikoima on kasvanut. Koska dokumenttien tarkoitus on välittää tietoa ihmisryhmien tai järjestelmien välillä, on erityisen tärkeää että dokumentaatio on laadittu siten että sen voidaan katsoa olevan yllä esitetyn määritelmän mukaisesti *kiinteää* ja *jäsenneltyä* informaatiota. Dokumentaation kiinteys voidaan käsitellä siten, että sen lisäksi että joku satunnainen dokumentti kuvaa jonkin tiedon, tarpeen tai menelmän, tulee sen lisäksi tähän dokumenttiin kiinteästi liittyä informaatio siitä, mihin dokumentti liittyy, kuka siitä vastaa tai miten sitä päivitetään.

Tällainen side voi muodostua dokumenttiin metadatanä tai se muodostuu seurauksena määritelmän jäsennellyn informaation käsitteestä. Käytännössä jäsennelty informaatio tarkoittaa erilaisten järjestelmien, prosessien tai jonkun muun rakenteen mukaan jaoteltua dokumentaatiota. Tämä rakenne muodostuu yleensä dokumentaatiota tuottavan ohjelmiston määrittämien ehtojen mukaisesti. Tämä tieto on oleellista esimerkiksi tietojärjestelmien osalta. Prosessien tarpeisiin ja eri osastojen välillä voi jäsennellyn informaation puutteen takia prosessissa esiintyä varianssia joka muodostuu laatua kuormittavaksi tekijäksi.

Tällä tavalla riittämätön dokumentaatio, eli tyypillisesti sellainen joka ei sisällä kiinteää taikka jäsenneltyä informaatiota, syntyy usein tilanteessa jossa dokumentaation tuottaminen koetaan työlääksi koska saatavilla ei ole mallia tai ohjeistusta jonka mukaan toimia. Tämä tilanne on tuhoisa takaisinkytkentä: dokumentaatio on puutteellista syystä että sen tuottamiseen liittyvä ohjeistus ja dokumentaatio on puutteellista.

Myös se, miten dokumenttien saatavuus on toteutettu, eli miten esteettömästi dokumentit ovat saatavilla, on tärkeää dokumentaatiosta saatavan hyödyn kannalta. Esimerkkitapaus voi olla vaikkapa se, että kokoonpanoasemalla kokoonpanoasentaja ei pääse käsiksi helposti työvaihekohtaiseen dokumentaatioon. Työohjeet voivat olla saatavilla vain tuotetiedonhallintajärjestelmän tuoterakenteen sisältä jolloin tiedon selaaminen on työlästä ja tehotonta järjestelmän hitauden takia. Myöskään jos dokumentaatio ei ole rakenteellisesti jäsennelty (tässä tapauksessa rakenteellisesti jäsennelty dokumentaatio voi tarkoittaa vaikkapa työvaihekohtaista dokumentaatiota) aiheuttaa se prosessiin turhaa työtä.

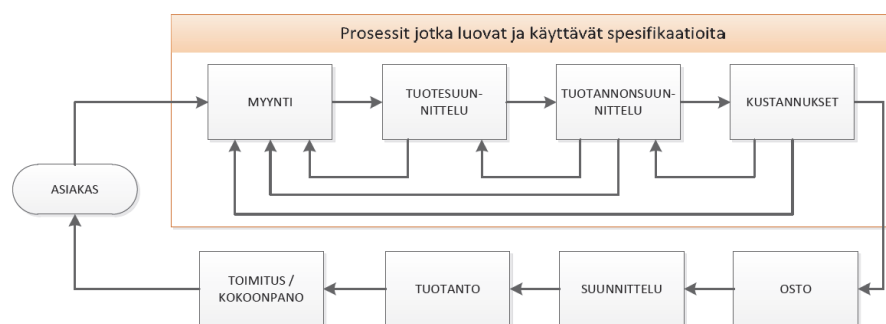
Tuotteen vaatimien spesifikaatioprosessien kulku tarvitsee useiden eri alojen erikoisasiantuntijoiden työpanosta. Esimerkkinä vaikkapa tuotekehitysinsinöörin vastuulla voi olla tuotteen konfiguraation hyväksyntä, kun taas tuotantoinsinöörin tehtävänä on ratkaista kyseisen konfiguraation liittyvät tuotannon haasteet eli saada aikaan tuotantosuunnitelma. Tästä vastuualueiden vaihdoista seuraa usein myös se, että tilaus voi jäädä jopa päiviksi erikoisasiantuntijan postilaatikkoon hyväksymistä odottamaan, erityisesti silloin jos erityisasiantuntijan tehtävä prosessissa on rajoitettu ainoastaan hyväksyntään.

Tutkimukset ovat osoittaneet että aikajanalla joka alkaa spesifikaatioiden tarpeesta ja päättyy niiden valmistumiseen, käytetään itse asiassa vain pieni osuus spesifikaatioi-

den *tekemiseen*. Kokonaisaika joka kestää asiakkaan tilauksessa asettamien vaatimusten valmistumiseen saattaa siis tapahtua vasta kuukauden päästä, mutta tästä ajasta saattaa vain lopulta 4 tuntia käytetty tehollisesti spesifikaatioiden tekemiseen. Loput tästä ajasta spesifikaatiot ovat viettäneet aikaansa odottamassa hyväksyntää tai unohtuneet postilaukkuun (Hvam;Mortensen;& Riis, 2008)

Jos käytössä ei ole konfigurointijärjestelmää eli tuotekonfiguraattoria, asiakaskoh-
taisia tuotteita valmistavan yrityksen geneerisessä tilaus-toimitusprosessissa spesifikaatioiden liike nähdään Hvamin et al mukaan kuvan 8 kaltaisena. Kyseessä voi olla tuote joka kustomoidaan asiakaskohtaisesti, mutta välttämättä tällä tuotteella ei ole modulaarista tuoterakennetta. Moduulijärjestelmä itsessään tulee kuitenkin aina olla etukäteen suunniteltu. On kuitenkin huomattava että tuotteen kompleksisuuden tai yrityksen vo-
lyymin kasvaessa ja erilaisten asiakasvaatimusten kirjon laajenemisen myötä, ajaa toi-
minta ilman modulaarista tuoterakennetta yrityksen toiminnan taloudellisesti kannatta-
mattomaksi. (Hvam;Mortensen;& Riis, 2008)

Jokainen kuvan spesifikaatiota tarvitsevien prosessien tarvitsemista takaisinkytken-
nöistä viivästyttää tilaus-toimitusprosessin kulkua eli myöhästyttää myös tuotteen toimi-
tusta asiakkaalle. Jokaiseen takaisinkytkentään joilla spesifikaatioiden liike kuvataan,
voidaan ajatella sisältyvän myös todennäköisyys virheen esiintymiselle syystä tai toises-
ta. Riski on suurimmillaan erityisesti silloin, kun spesifikaatio siirtyy osastojen välisessä
tiedonkulussa, jolloin vastuualue vaihtuu tai spesifikaatio vaihtaa muulla tavalla omista-
jaa. Spesifikaatiota saattaa olla esimerkiksi mahdoton tulkita yksikäsitteisesti jos ne on
laadittu huolimattomasti tai jos niiden käsittelyssä esiintyy koordinaatio-ongelmia osas-
tojen välillä, jolloin joudutaan tekemään selvitystyötä. Tällaisten virheiden korjaami-
seen kuluva aika voidaan perustellusti luokitella lisäarvoa tuottamattomaksi työksi,
asiakas ei ole valmis maksamaan tuotteesta enemmän vain sen takia, että yrityksen pro-
sessit eivät ole järjeistetty tai virtaviivaisia. (Hvam;Mortensen;& Riis, 2008) s.31.



Kuva 10 Tilaus-toimitusprosessi Hvam et al mukaan, kun käytössä ei ole konfiguraatiojärjestelmää: prosessin kulku on iteratiivinen ja raskas. (Hvam;Mortensen;& Riis, 2008) s.30

Prosessien kannalta on tehokkuuden kannalta edullista jos tuotekehityksen resurssi-
ja ei kuormiteta yksittäisiin tilauksiin liittyvällä suunnittelun rutiiniväillä, jolloin sen
voimavarat voivat vapautua uusien innovatiivisten ratkaisujen etsimiseen tuotekehityk-

sen ratkaisuvastavuudesta. Konfiguroinnin kannalta ajateltuna tuotekehitystyön tavoitteena tulisi kuitenkin olla tuoterakenteen optimointi, sekä järjestelmään liittyvän dokumentaation kehittäminen ja sen luonti. Tuoterakenteen optimointiin voi sisältyä muun muassa tuoterakenteen rationalisointi esimerkiksi kartoittamalla yrityksen tuotteet tarpeellisen ja tarpeettoman variaation osalta.

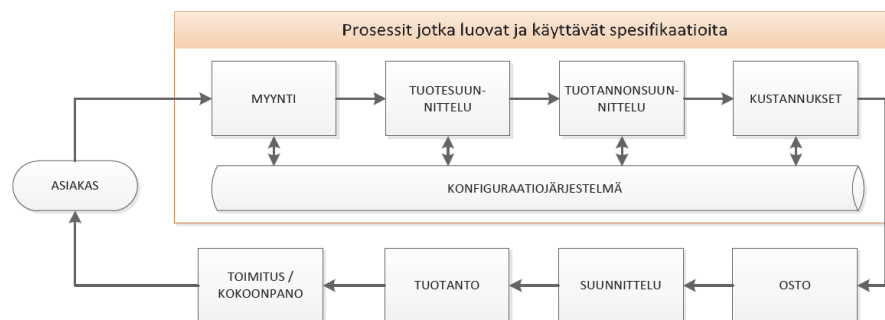
Spesifikaation määritelmästä nousee esille dokumentaation kehittämisessä huomiotava tärkeä yksikäsitteisyyden ohjenuora. Yksikäsitteisyydellä tässä tapauksessa tarkoitetaan sitä, ettei spesifikaatiossa esitettyä kuvausta tiedosta, tarpeesta tai menetelmästä voi ammattitaitoinen henkilö käsittää väärin. Tämä vaatii standardisoituja toimintamalleja spesifikaatioiden tuottamisessa yrityksessä ja koko sen alihankintaverkostossa. Pohjan toiminnalle tarjoavat velvoittavat alan standardit ja käytännöt. Käytännön esimerkki järkevästä käytännöstä voi olla vaikkapa kokoonpanopiirustusten osalistat, jotka tulee numeroida komponenttien kokoonpanojärjestyksen mukaan. Tavallisimmin osalistauksen muodostaa CAD-ohjelma automaattisesti, esimerkiksi nimikenumeron tai osan nimen aakkosjärjestyksen mukaan, mutta tämä tapa ei auta kokoonpanotyöntekijää linjalta. (Pere, 2009)

Kun yritys siirtyy konfiguroimaan tuotteitaan konfiguraatiojärjestelmän kautta, manuaalisen konfiguraatiotyön sijasta, työntekijän työnkuva muuttuu olennaisesti spesifikaatioiden tuottamisen osalta. Työnkuva muuttuu pelkästään yllä kuvailtujen yksikäsitteisten spesifikaatioiden tuottajasta konfiguraatiojärjestelmään mallintamiseen ja ylläpitoon tarvittavan tiedon ylläpitäjäksi. Tämä muutos osaamiskentässä vaatii työntekijältä taitoa kuvata tuotetietoa järjestelmän kannalta oikealla tavalla; eli tiettyä systematiikkaa ja rakenteellisuutta noudattaen, ennen kuin sitä voidaan hyödyntää konfiguraatiojärjestelmän ylläpidossa ja ylläpidossa. (Hvam;Mortensen;& Riis, 2008) s.32.

Valmiuksia tätä ylläpitotyötä tekemään on usein tuotteen eri osa-alueista vastaavilla erityisasiantuntijoilla jotka löytyvät usein yrityksen tuote- tai tuotantosuunnittelun kehittämisosastoilta. Nämä erityisasiantuntijat osallistuvat tuotteen kehitykseen tarjoamalla ammattitaitonsa ja osaamisensa eri tuotteen elinkaaren vaiheissa kuten tuotannossa tai kokoonpanossa sekä analysoivat ja kehittävät prosesseja eteenpäin. (Harlou, 2006)

Tuotetiedon mallintamisella konfiguraatiojärjestelmän ymmärtämään muotoon ja tätä kautta myyntikonfiguraattorin muodostamisella ja sen integroimisella tilaus-toimitusprosessiin, yrityksen toiminta tehostuu koska spesifikaatioiden turha liikuttelu osastojen välillä poistuu prosessista. Myös asiakkaan toiveisiin vastaava valmis spesifikaatio saadaan muodostettua aikaisempaa nopeammin suoraan tuoterakennemallista, johon on rakennettu sisään tarvittavien ehtojen ja rajoitteiden avulla tiedot jokaisesta tuotteen variantista. Myyntikonfiguraattoria käytettäessä tarjouspyyntöihin vastaaminen vaatii vähemmän resursseja koska manuaalisesti tehty tilauskohtainen tuotekustomointi jää välistä. Näihin vaiheisiin ennen liittynyt spesifikaatioiden teko ei enää kuormita tilaus-toimitusprosessia koska järjestelmä luo ne ulos automaattisesti. Työvaihe mikä on ennen kestänyt viikkoja, voidaan saada valmiiksi tunneissa tai jopa minuuteissa. Kilpailuetua saadaan siitä että tarjouspyyntöihin voidaan vastata nopeasti tarkkojen spesifikaatioiden avulla. (Hvam;Mortensen;& Riis, 2008) s.16

Kuva 11 esittää tilaus-toimitusprosessin jossa konfiguraattorijärjestelmä toimii tilaus-toimitusprosessin tukena. Organisaation eri osastojen välinen informaatiokulku selvenee ja lisäarvoa tuottamaton tilauskohtainen rutiinisty ei enää ole osastojen rasitteena. Konfiguraatiojärjestelmän luominen massaräätälöitävillä asiakasvarioituville tuotteille on helpompaa jos tuoteperheen tuoterakenne on modulaarinen sekä järjestelmiin sisällytetty tuotetieto on rakenteellisesti ja loogisesti yhtenäinen kokonaisuus. Tämä tarkoittaa että malli sisältää rajoitteet, ehdot ja relaatiot jolloin sen muodostaminen on mahdollista. Hvam et al mukaan yrityksen toimintamallin ja strategian on monin osin tuettava konfiguraatiojärjestelmän perustamista ennen kuin sen perustaminen on mahdollista (Hvam;Mortensen;& Riis, 2008).



Kuva 11 Hvam et al esittämä tilanne jossa valmis konfiguraatiojärjestelmä tukee prosesseja tilauksesta toimitukseen asti. (Hvam;Mortensen;& Riis, 2008) s.31

Hvam et al esittävät erään case-esimerkin konfiguraatiojärjestelmään siirryttäessä saatutavista tuotannon tehostumisista. Sandvik ennen konfiguraatiojärjestelmään siirtymistä on saattanut kuluttaa jopa kolme viikkoa tarjouspyynnön ja valmistusspesifikaatioiden tuottamiseen asiakkaan tilauksesta, kun spesifikaatioprosessit on tuotettu manuaalisesti ja tilauskohtaisesti (Kuva 10).

Konfiguraatiojärjestelmään siirtymisen jälkeen tilaus-toimitusprosessi on tehostunut ja toimii seuraavasti: myynnin edustaja syöttää konfiguraattoriin parametrit jotka kuvaavat tuotteen asiakkaan vaatimusten mukaisesti. Jos konfiguraatiojärjestelmän on rakennettu asiakasliityntä, esimerkiksi web-käyttöliittymän kautta, asiakas voi tehdä tämän vaiheen myös itsenäisesti. Parametrien syöttämisen jälkeen konfiguraatiojärjestelmä muodostaa rajoitteiden ja ehtojen kautta tuoterakenteen sekä rakentaa tilaukseen liittyvän dokumentaation automaattisesti. Dokumentaatio voi sisältää esimerkiksi osa- ja valmistuspiirustukset, CNC-koodit, osalistat, tarvittavat työvaiheet, sekä muut tuotespesifikaatiot, joita tuotteen valmistamiseen tarvitaan. Järjestelmä voi lisäksi laskea tuotteen hinnan ja tulostaa asiakkaalle tarjouspyyntöön vastaavan lomakkeen. Yllä kuvattu konfigurointijärjestelmän kautta kulkeva prosessi voi kestää vain noin 10 minuuttia verrattuna aikaisempaan kolmeen viikkoon jossa yllä kuvatut työvaiheet on tehty manuaalisesti eri osastojen ja ihmisten kautta. Säästyneen ajan osalta myös spesifikaatioiden laatu on tasaista, koska ne luodaan järjestelmällisesti joka kerta samalla tavalla. (Hvam;Mortensen;& Riis, 2008)

Konfiguraatioprosessilla on eräitä yleisiä rajoitteita/ehtoja jotka seuraavat konfiguroinnin edellisissä kappaleissa kuvaillusta määritelmästä. Brownin (Brown, 1998) mukaan nämä kaikelle konfiguroinnille yhteiset rajoitteet voidaan yleistää seuraavasti:

- Konfiguroinnin aikana ei suunnitella uusia tuotteen komponentteja
- Jokainen tuotteen komponentti on etukäteen määritelty rakenteessa, eli ne voidaan yhdistää vain etukäteen määritettyjen ehtojen mukaisesti, jotka eivät muutu konfiguroinnin aikana
- Prosessin tuloksena saatava konfiguraatio kuvaa komponentit sekä niiden väliset relaatiot

Jos konfigurointiprosessia täsmennetään konfiguroitaviin tuoteperheisiin, on näkökantaa tukemaan yksilöity viisi rajoitetta jotka määrittävät konfigurointiprosessia: (Pulkinen, 2007)

1. Jokainen toimitettu tuoteyksilö vastaa kyseisen asiakkaan vaatimuksiin tuotteesta
2. Jokainen tuoteyksilö on kokonaisuus, joka koostuu etukäteen suunnitelluista tuotementeistä. Elementtejä ei suunnitella tilaus-toimitusprosessin aikana
3. On olemassa etukäteen mallinnettu geneerinen tuoterakenne joka on suunniteltu vastaamaan erityisvaatimuksiin tietyn ratkaisuvälineen sisällä
4. Tilaus-toimitusprosessi ei vaadi tuotesuunnittelupanosta joka on tilaukseen sidottu, vain ainoastaan systemaattista varianttien hallintaa
5. Toimitettu tuote yksilönä perustuu yhtenäiseen rakenteeseen joten tästä rakenteesta syntyvät tuoteyksilöt muodostavat (konfiguroitavan) tuoteperheen

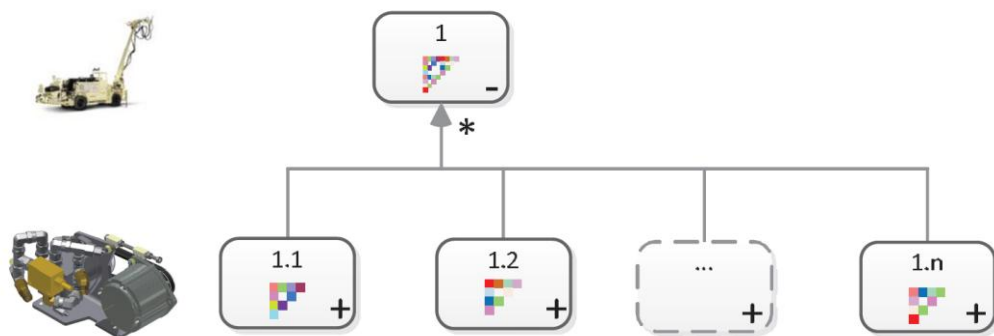
Miksi konfigurointiprosessin aikana ei suunnitella, jos konfigurointiprosessia ajatellaan yllä olevan tiukan määritelmän mukaan? Tuottavathan suunnittelu- sekä konfigurointiprosessi molemmat, erinäisten sääntöjen kautta, määritelmän tuotteesta? Prosessien välillä on kuitenkin eräitä perustavanlaatuisia eroavaisuuksia. Suunnitteluprosessin aikana tietämys lisääntyy, se on iteratiivista työskentelyä ja ratkaisuväline, varsinkin prosessin alkuvaiheessa, saattaa olla hyvin sumea. Konfigurointi taas ei yleisimmissä muodoissa ole iteratiivinen, eikä sen aikana tietämys lisäännä. Konfigurointiprosessissa myös ratkaisuväline on tarkkaan määritelty ja rajattu. Perusteltuna väittämänä voidaan pitää siis sitä, että tilaus-toimitusprosessin suunnitelmallisuus, ennustettavuus ja hallinta paranevat, kun suunnittelun sijasta konfiguroidaan. (Pulkinen, 2007)

4 DOKUMENTAATIOMALLI

4.1 PUUMAINEN TIEDON ESITYSTAPA KOKOONPANTAVUDEN KANNALTA

Kuva 12 esittää tuotteen modulaarisen tuoterakenteen jaon, jossa tuote on pilkottu pienemmiksi osakokonaisuuksiksi eli moduuleiksi. Edellisissä kappaleissa (Taulukko 8) esitetään ne ohjaavat tekijät, joiden avulla minkä tahansa tuotteen modulaarinen tuoterakenne muodostuu. Tuote voidaan jakaa siis vaikkapa kokoonpanojärjestystä tukeviksi moduuleiksi tai moduulit voidaan muodostaa tuotteen toiminnallisuuden kautta. Toisaalta voidaan ajatella että kuvan kaaviossa esillä oleva tuoterakenteen kuvaus on eräiltä osiltaan hyvin samankaltainen projektin työnosituskaavion kanssa. Työnosituskaavion avulla (eng. Work Breakdown Structure eli WBS) projektisuunnittelussa projekti hajoitetaan itsenäiseksi kategorisesti jaoteltuihin osakokonaisuuksiin eli eräänlaisiin työpaketteihin, jolloin projektin hallittavuus paranee. Projektin osiin jaetut elementit ovat siis itsenäisiä työpaketteja jotka voidaan suorittaa vapaassa järjestyksessä toisiinsa nähden, kuitenkin kaavion hierarkiaa noudattaen, eli elementtien kokoamisjärjestys syntyy hierarkisesta rakenteesta. Rakenteellisesti ajatellen siis sama periaatteellinen kuvaus pätee osittain esittämään tuotteen modulaarista tuoterakennetta.

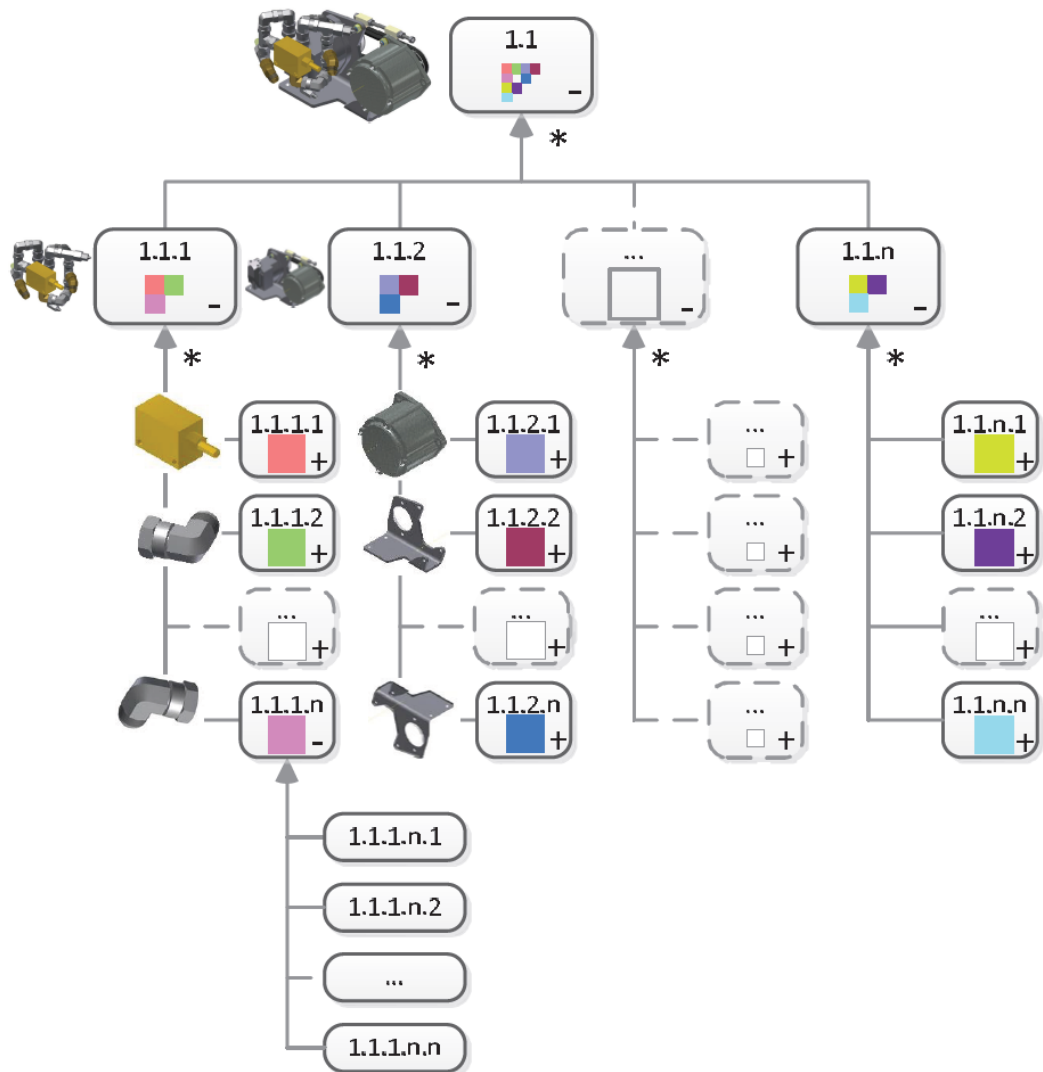
Projektien työnosituksen elementit (suuremman työtehtävän alielementit) ovat siis itsenäisiä kokonaisuuksia ja toisistaan riippumattomia. Näin ollen, koska tuote koostuu moduuleista, joita voi olla n kappaletta ja jotka ovat tuotteen itsenäisiä elementtejä, voidaan tuoterakenne myös kuvata työnosituksen kaltaisen puurakenteen kautta jossa työpaketit vastaavat moduuleita tai kokoonpantavia kokonaisuuksia.



Kuva 12 Mielivaltaisen modulaarisen tuotteen (merkitään numerolla 1) rakenne avattuna (-). Tuote koostuu n moduulista (jotka merkitty 1.n). Moduulien kokoonpano suoritetaan pisteessä *. Moduulit (1.x) sisältävät edelleen alikokoonpanoja (+).

Tuoterakenne on usein kuvan esitystavan kaltainen ja muodostuu tuotteen digitaalisesta prototyyppiä eli kolmiulotteista mallia rakennettaessa puumaiseksi kansiorakenteeksi järjestelmien sisälle jota kautta sitä voidaan muokata. Tämä tapa kuvata tuotteen rakenne näkyy mekaniikkasuunnitteluohjelmistoissa kun tuote avataan niiden muokattavaksi.

Yleisesti rakenne esitetään myös tässä muodossa PLM-järjestelmissä. Aikaisempien määritelmien mukaisesti moduuli käsitetään tuotteen itsenäiseksi elementiksi ja joka voidaan merkitä numeerisella osoitteella (##) . Tässä osoitteessa ensimmäinen tunnistenumero ennen pistettä kuvaa tuotetta johon moduuli liittyy ja pisteen jälkeinen numero on kyseisen moduulin numeerinen tunniste. Elementti jonka tunniste on 4.2 on siis on moduuli 2 joka on osa tuotetta 4. Edelleen rakenteessa alemmille tasoille edetessä noudatetaan samaa osoiteperiaatetta. Koska moduulit koostuvat kokoonpanoista, voidaan ne merkitä osoitteella (##.##). Tätä osoitelogiikkaa noudattaen voidaan ilmaista mikä tahansa mielivaltainen osa rakenteessa, joka kuuluu johonkin alikokoonpanoon, joka edelleen kuuluu moduuliin joka edelleen kuuluu tuotteeseen ja niin edelleen. Elementin sijainnin rakenteessa ilmoittaa siis sen numeerinen osoite ja osoitteesta selviää myös mikä puuhaaran alle se rakenteessa kuuluu.



Kuva 13 Voimayksikkömoduuli (1.1) avattuna (-). Moduuli sisältää n määrän kokoonpanoja (1.1.n) ja näiden kokoonpanojen sisällä edelleen alikokoonpanoja/osia (1.x.x.x) joiden kokoonpanoa merkitään tähdellä (*). Kun rakenteessa edetään syvemmälle, voivat osat/kokoonpanot ilmaantua muissa moduuleissa/kokoonpanoissa (standardikomponentit).

Kuva 13 jossa rakenne on avattu vielä syvemmälle tasolle asti, noudattaa yllä esitettyä numeerista osoitesääntöä. Tämä puumainen rakenne on yleisesti se, millaisena tuoterakenne ilmenee PDM-järjestelmissä käyttäjälle ja josta tieto ”kaivetaan” esiin. Kuvassa esitetyssä tapauksessa lisälaturiyksikkömoduuli jakautuu edelleen osiin ja kokoonpanoihin, joilla jokaisella on PDM-järjestelmässä oma nimikkeensä. Tämä nimiketieto on kategorisoitua ja hierarkisesti järjestettyä eri puuharojen alle kuuluvaksi määriteltä tietoa tuotteen elementeistä. Näin ollen, jos esimerkiksi kokoonpanoasentaja haluaa tietää mitä komponentteja, työvaiheita tai työkaluja jokin tietty kokoonpanoon kuuluva kokoonpanojen ja osien kokoelma vaatii, joudutaan tämä tieto etsimään järjestelmän sisältä. Tämä vaatii asentajalla tietämystä mikä kyseisen elementin osoite puurakenteessa on, eli missä tuoterakenteen sisällä kyseinen elementti sijaitsee. Tämä etsiminen tuhlaa kokoonpanoresursseja ja luo epäoleellista ongelmanratkaisutyötä kokoonpanolinjalle.

Järjestelmän sisällä monimutkaisten tuotteiden sisältämä nimikemäärä voi myös kokonaisuudessaan olla miljoonia nimikkeitä. Tätä huomattavasti pienempi nimikemäärä voidaan saavuttaa panostamalla konfigurointiin. Suuri määrä nimikkeitä voi osaltaan myös hidastaa PDM-ohjelmistoja käyttäviä työasemia; rakenteen avaaminen tarvittavalle alitasolle voi kestää luvattoman kauan. Mikäli palvelinkapasiteetin raja ei tule vastaan, suunnittelijan käyttämälle työasemalle tämä ei useinkaan ole rajoitteena mutta kokoonpanopisteellä käytettävät työasemat (usein käytetään kannettavia tietokoneita) jättävät usein toivomisen varaa. Työaseman teho voi osaltaan siis vaikuttaa ohjelmiston käytettävyyteen mutta suurempi vaikutus on käytettävissä olevalla järjestelmän palvelinten samanaikaisten käyttäjien kapasiteetilla, eli CCU:lla (concurrent users). Jos siis palvelinkapasiteetti on riittämätön voi kansiorakenteen avaaminen ja tarvittavan tiedoston avaaminen mitata kokoonpanoaseman työasemalla minuuteissa. Tämä voi hidastaa asennusprosessia ja tehdä työstä turhauttavaa.

Rakenteen pilkkominen pienempiin elementteihin ja sen esittäminen PDM-järjestelmän kautta ei siis yksistään riitä selventämään rakennetta kokoonpanon näkökulmasta. Jos tuotetietoa ei esitetä kokoonpanoon optimoidulla tavalla, voi se toimia käytännön kokoonpanotyön kehittämisen esteenä. Jos PDM-järjestelmässä jokaisella kokoonpanoon kuuluvalla nimikkeellä on metatietona kokoonpanon vaihe johon se liittyy, kuvautuu tämä tieto tuotannonohjausjärjestelmään (ERP) listauksena nimikkeistä kokoonpanovaiheineen. Tämä listaus voi toimia edelleen impulssina varastolle mitkä komponentit haetaan kokoonpanopaikalle ennen kutakin kokoonpanovaihetta. Mutta koska eri nimikkeet voivat liittyä useisiin eri kokoonpanovaiheisiin ja koottava rakenne on varioituva, on lähes mahdotonta rakentaa etukäteen täysin tarkkaa kuvausta jokaisesta mahdollisesta kokoonpanojärjestyksestä pelkästään nimikkeisiin liittyvän vaihekodein avulla ilman että tehtäisiin vaiheisiin liittyviä yleistyksiä.

Yllä kuvattu tilanne on eräänlainen tiedonjaottelun ongelma joka ratkaistaan käytännön kokemuksen perusteella lopullisesti vasta tuotannon ylösajon aikana kun muodostetaan lopullinen kokoonpanojärjestys. Kokoonpanon kannalta tätä ongelmaa voitaisiin myös toisaalta lähestyä ajattelemalla varioituvan tuotteen yhtä tiettyä kokoonpanoa

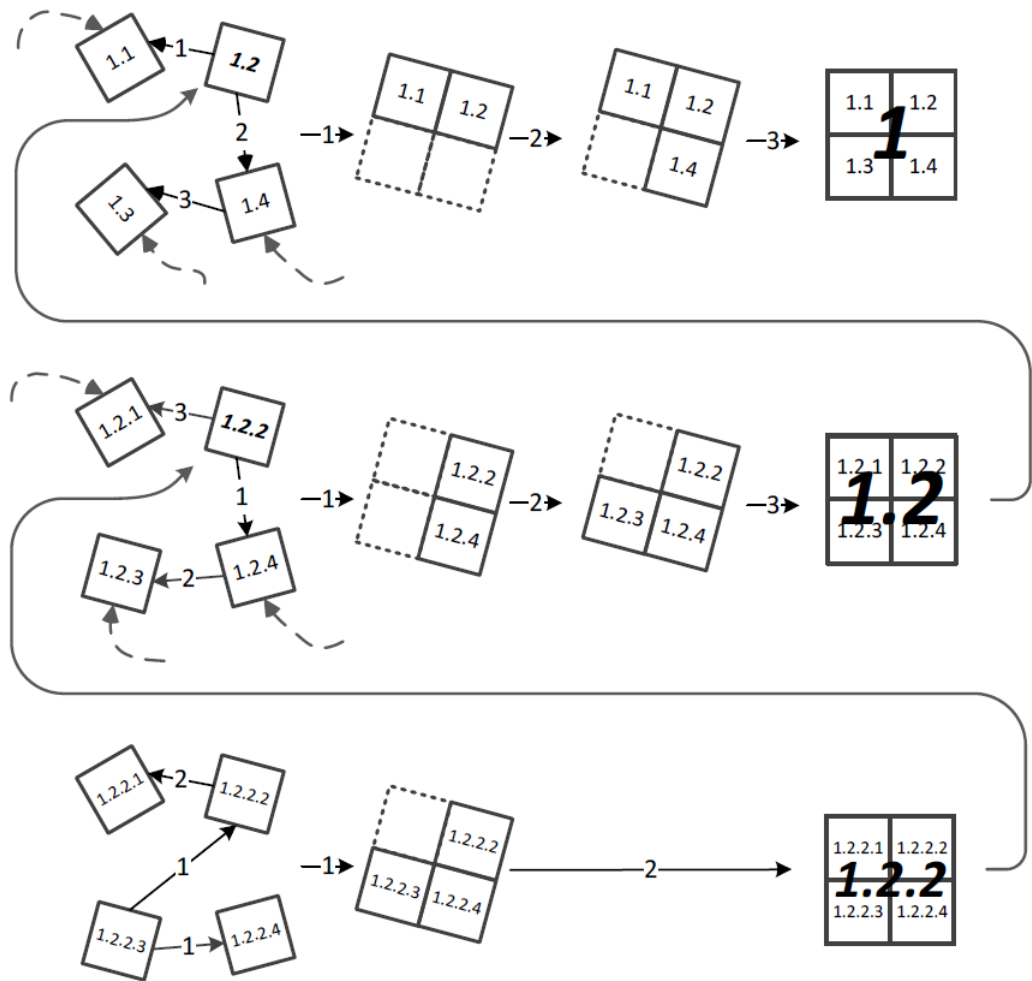
eli konfiguraatiota tuotteen alkioden joukon (tuotetta ajatellaan siis joukkona elementtejä, osia, kokoonpanoja ym.) yhtenä permutaationa, eli kokonaisuutena jolla on tietty alkioden järjestys joka vastaa kokoonpanojärjestystä. Tämä kokoonpanojärjestys voitaisiin periaatessa muodostaa etukäteen tuotteen 3D-malliinformaatiosta. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin se, että minkäänlaista lajittelualgoritmia ei ole olemassa jolla tämän joukon permutaatio rakennettaisiin.

Tuotteen alkioden välillä ei ole olemassa yksinkertaista relaatiota jonka perusteella algoritmi olisi helppo rakentaa, kuten vaikkapa on tilanne jos joukon alkiot olisivat kokonaislukuja tai merkkijonoja joiden lajitteluun löytyy useita valmiita algoritmeja. Sen sijasta tuotteen alkioden järjestys (kokoonpanojärjestys) muodostuu alkioden välisistä geometrisista rajoitteista ja/tai niiden välisten liikkeiden vapausasteista jotka tulisi ottaa huomioon algoritmia rakennettaessa.

Yllä kuvattu puumainen rakenteen kategorisointi jossa rakenne segmentoidaan elementteihin, ei siis ota kantaa rakenteen elementtien sekventiaalisuuteen eli siihen missä järjestyksessä elementit kootaan takaisin yhteen (rakenne itsessään ei siis usein kuvaa kokoonpanojärjestystä). On huomattava että yllä kuvattu numeerinen osoitteisto ei sinällään kuvaa kokoonpanojärjestystä, vain ainoastaan elementin paikkaa puurakenteessa, ellei osoitteistoa laadita täsmälleen kokoonpanojärjestystä ajatellen, jolloin elementtien väliset rajapintaliitynnät toimivat kokoonpanojärjestyksen muodostamisen ohjaavina tekijöinä. Usein tämä kokoonpanojärjestys muodostetaan kuitenkin vasta rakenteen muodostamisen jälkeen jolloin rakenne ja järjestys eivät välttämättä enää tue toisiaan.

Kokoonpanoa voidaan ajatella prosessina joka on sarja toisistaan riippuvia alitehtäviä joiden avulla tuotteen elementit yhdistyvät kokonaiseksi tuotteeksi. Se missä järjestyksessä elementit kootaan, riippuu elementtien välisistä vuorovaikutuksista ja niiden tyypeistä. Elementtien välillä yleisin kokoonpanojärjestyksen vaikutustekijän tyyppi voidaan ajatella olevan geometrinen rajoite, joka asettaa ehdot elementtien sekventiaalisuudelle eli missä järjestyksessä elementit voidaan fyysisesti asentaa paikalleen kolmiulotteisessa avaruudessa. Toisaalta myös aineen tai energian virtaus voi asettaa reunaehdot kokoonpanolle, esimerkkinä voidaan mainita vaikkapa sähkö- ja hydraulijärjestelmät, jotka usein asennetaan kokoonpanon loppuvaiheissa.

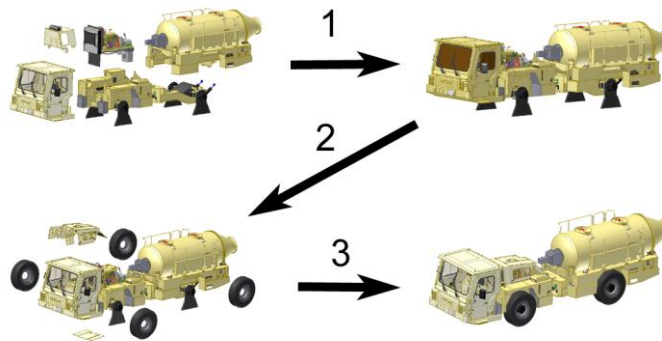
Kokoonpanoa voidaan näiltä osin siis pitää tuotekonfiguraatioon verrattavana prosessina, koska molemmissa tuotteen elementit asennetaan yhteen ennalta määrättyjen rajoitteiden määrääminä. Konfiguraatiota tehdessä sen prosessin vaatimat panokset ja tuotokset ovat kuitenkin tietyiltä osin abstrakteja tietämyksen elementtejä, jotka yhdistetään konfiguraatiomallin rakenteen sääntöjen mukaisesti joko automaattisesti soveluksen kautta tai manuaalisesti konfiguroimalla. Kokoonpano on taas hyvin käsin kosketeltavissa oleva prosessi. Tietämys toleransseista, välyksistä ja työprosesseista sekä niiden kyvykkyyksistä ohjaa siis tällöin kokoonpanoprosessia enemmän kuin käsitteellinen abstrakti tieto. (Booker;Raines;& Swift, 2001)



Kuva 14 Kokoonpanotapahtuma (merkitty *) on sekventiaalinen prosessi, jossa tuotteen elementit yhdistetään toisiinsa tietyssä järjestyksessä, jolloin ne muodostavat osakokonaisuuden. Järjestys muodostuu usein elementtien välisistä geometrisista ehdoista. Kuvan alikokoonpanon (1.2.2.) sekventiaalisuus on $(1.2.2.3) \Rightarrow (1.2.2.2) + (1.2.2.4) \Rightarrow (1.2.2.1) \Rightarrow 1.2.2.$

Kuva 14 esittää kokoonpanon sekventiaalisuuden yllä kuvatun rakennepuun elementtien kautta jossa mielivaltainen moduuli on jaettu kokoonpanoihin ja edelleen osiin. Kuvassa 11 kokoonpano tapahtuu pisteessä (*). Tällainen puumainen rakenne tuotteesta on siis vastaava kokoonpano-BOM:in kanssa ja on tuotannon näkymä tuotteeseen. Tulee huomata, että tämä kuvaus rakenteesta muodostuu hyvin todennäköisesti erilaiseksi, mikäli se syntyy esimerkiksi myynnin konfigurointirajoitteiden kautta. Konfiguraattorin tulee siis hallita nämä tuotteen rakenteelliset epäyhdenmukaisuudet eri näkymien välillä. Kuvassa elementtien väliset geometriset vuorovaikutukset (joiden vaikutus pääosin määrää kokoonpanojärjestyksen) kuvataan numeroiduin nuolin. Kukin elementti noudattaa yllä kuvattua rakenteen numeerista osoitetta, jossa moduulia merkitään numerolla ja sen alikokoonpanoa edelleen pisteellä erotetulla numerolla ja niin edelleen. Selkeyden takia kukin elementti koostuu neljästä alielementistä jotka edelleen jakautuvat neljään alielementtiin. Kuvassa alhaalta aloittaen nähdään että kokoonpanon

ensimmäinen vaihe on alkaa elementtien 1.2.2.2 ja 1.2.2.4 yhdistäminen elementtiin 1.2.2.3. Voidaan ajatella siis, että elementti 1.2.2.3 toimii kokoonpanon alkupisteenä ja on elementin 1.2.2 eräänlainen esiaste, johon muita elementin 1.2.2 alielementtejä aletaan yhdistetellä. Tämä elementti johon muita elementtejä aloitetaan kokoamaan, on kokoonpanoissa yleensä runko, muu vastaa kokoonpanon yhteen sitova kehysosa tai jigi. Nähdään että elementin 1.2.2. kokoaminen vie kaksi työvaihetta. Voidaan huomata että kaavion elementtien kokoonpanoa tarkasteltaessa kokoonpanovaiheiden määrä on aina enintään elementtien määrä – 1. Elementtien toimivuuden testaus tai muu elementtien yhdistämiseen kuuluvat työvaiheet voivat lisätä tätä työvaiheiden määrää, mutta eivät siltikään nosta sitä yli elementtien lukumäärän. Käytännössä yksi kokoonpanon työvaihe sisältää usein usean eri elementin yhdistämisen työvaihetta kohden.



Kuva 15 Käytännön moduulitason kokoonpantavuuden vaiheet.

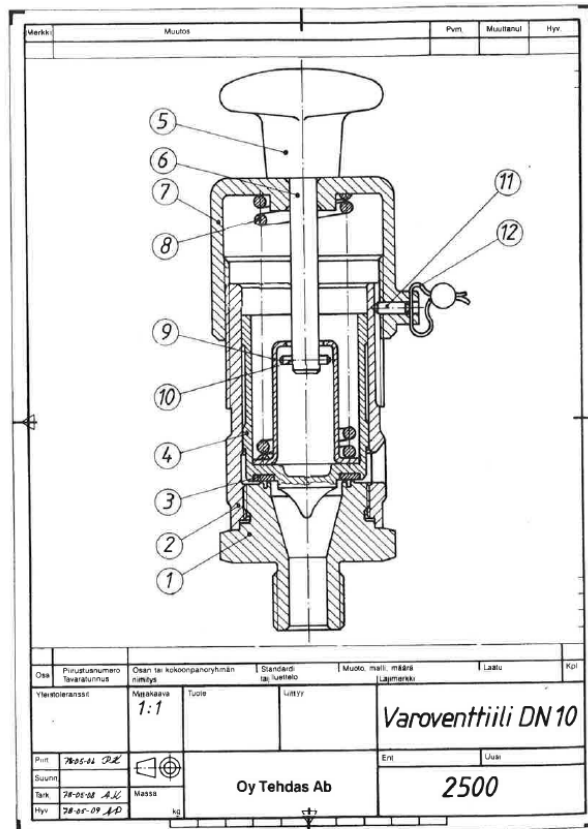
4.2 DOKUMENTAATION YKSIKÄSITTEISYYS JA SEN VAIKUTUS KOKOONPANTAVUUTEEN

Kappaleessa 3.3.1 esitettyjen tiedon määritelmien perusteella eksplisiittinen tietämys on siis sellaista, jolla voidaan kuvata tietoa eteenpäin ihmisryhmien välillä, usein erityyppisen dokumentaation avulla. Kokoonpanon näkökannalta työohje tai muu vastaava työvaihetta kuvaava dokumentti on siis eksplisiittistä dokumentaatiota, jota tekijän implisiittinen tietämyksen avulla on mahdollista tulkita. Monimutkaisen tai kokoluokaltaan suuren tuotteen kokoonpanoa voidaan pitää mahdollisena vain näiden kahden tietämyksen lajin yhteisvaikutuksesta.

Kokoonpanopiirustukset muodostavat siis merkittävän osan työohjeista ja joita ilman kokoonpanoprosessi ei voi toimia. Varsinkin prosessin alkuvaiheessa, eli ensimmäisten yksilöiden kokoonpanossa, kokoonpanopiirustusten vaikutus muodostuu hyvin suureksi. Kun kokoonpanijoiden tietämys tuotteen kokoonpanosta kasvaa toistojen myötä, vähenee kuitenkin kokoonpanopiirustusten merkitys. (Huhtala, 2009) Toisin sanoen, prosessin toistojen myötä eksplisiittisen tietämyksen (eli sen, joka voidaan helposti dokumentoida) merkitys vähenee, kun taas implisiittisen - kokemusperäisen tiedon, merkitys kasvaa.

Kuva 15 esittää tyypillisen kokoonpanopiirustuksen jonka avulla on mahdollista koota kuvan suhteellisen yksinkertainen laite. Kuva esittää leikkauskuvantona varoventtiilin komponentit, niiden relaatiot toisiinsa sekä komponenttien kokoamisjärjestyksen osanumerointina. Tämä kokoonpanokuvaan sisällytetty eksplisiittinen tietämys on ilmaistava mahdollisimman yksikäsitteisesti jotta epäselvyys kokoonpanoprosessin aikana vältetään. Osien mielivaltainen numerointi piirustuksissa vaikeuttaa kuvien tulkitsemista sekä on haitaksi toistojen myötä kehittyvälle implisiittiselle tietämykselle.

Peren (Pere, 2009) oppien mukaisesti kokoonpanopiirustusten osanumerointi tulisi noudattaa aina kokoonpanojärjestystä jotta piirustukset tukevat kokoonpanoprosessia. Valitettavan usein osien numerointi (osien numeroinnilla tässä tapauksessa tarkoitetaan kokoonpanopiirustuksessa esillä olevaa osan numeroa, ei PDM-järjestelmän automaattisesti luomaa numerotunnistetta) annetaan kuitenkin ohjelmiston tehtäväksi, johtuen usein ajanpuutteesta tai huolimattomuudesta. Mallinnusohjelmistojen automaattisesti luoma osien välinen leikkausviivoitus jättää myös usein toivomisen varaa selkeyden kannalta. Suunnittelijan tulee usein määritellä leikkausviivoitus manuaalisesti jotta kokoonpanon osat saadaan erottumaan selvästi toisistaan.



Kuva 16.24 Esimerkki kokoonpanopiirustuksesta. Osien numerointijärjestys = kokoonpanojärjestys.

Kuva 16 Varoventtiilin kokoonpanopiirustus. (Pere, 2009)

Suhteellisen yksinkertainen komponentti voidaan siis koota A4-paperiarkilla kuvatun tiedon avulla. Kuitenkin tuotteen kokoluokan kasvaessa, jolloin voidaan olettaa että myös komponenttien lukumäärä sekä monimutkaisuus kasvavat, ei kaksikulotteisella esitystavalla tuotteen kokoonpanoa enää voida esittää yhtä yksikäsitteisesti. Usein piirustukseen tehdään selventäviä detaljikuvia, erisuuntaisia projektioita tai räjäytyskuvia mutta vaikka näitä keinoja käytetään, kaikkia relevanteja tuotteen yksityiskohtia kokoonpanon kannalta on yksinkertaisesti mahdotonta esittää 2D-paperiversiossa ilman että paperinipusta muodostuisi liian paksu. Perusongelma on se että monimutkaisen useista elementeistä koostuvan kolmiulotteisen kappaleen kuvaaminen kaksikulotteisessa avaruudessa jättää aina lukijalle tulkinnanvaraa. Toisin sanoen, monimutkaisen kolmiulotteisen kappaleen kuvaus kaksikulotteiseen avaruuteen ("paperiarkille") ei ole useimmissa tapauksissa yksikäsitteisesti tulkittavissa. Tämä dokumentaation tulkinnanvaraisuus hidastuttaa kokoonpanoprosessia ylimääräisen selvitystyön takia ja aiheuttaa ylimääräisiä yhteydenottoja suunnitteluun (Huhtala, 2009).

Pääosa nykyisestä kokoonpanossa käytettävästä tuotedokumentaatiosta tuotetaan parametrusten mallinnusohjelmistojen avulla (Huhtala, 2009). Ohjelmistojen avulla voidaan tuottaa korkealaatuista 3D-informaatiota eli muodostaa tuotteesta digitaalinen prototyyppi. Vaikka useimmilla yrityksillä on käytettävissään ohjelmistot jotka voivat tuottaa tällaista informaatiota usein ohjelmistojen avulla muodostettua kolmiulotteista mallia ei

tajuta hyödyntää tarpeeksi. Suunnittelijan työpöydällä kolmiulotteisuutta ja sen tuomat edut suunnitteluprosessiin on huomattu, mutta tuotantoon asti tämä kolmiulotteinen tieto ei leviä, mallin pelkistyessä usein kaksiulotteisiin projektioihin kokoonpanopiirustusten muodossa.

Varsinkin ensimmäisten prototyyppien kokoonpanossa kokoonpanopiirustusten sijasta olisi mahdollista antaa malli tuotannon tarkasteltavaksi soveltuvan ohjelmiston kautta, jolloin muut yrityksen osaamisalueet voidaan tuoda mukaan suunnitteluprosessiin jo ensimmäisistä versioista alkaen. Tarve erillisen katseluohjelmiston käyttöön on se, että mekaniikkasuunnitteluohjelmistot joilla mallit laaditaan, ovat liian monimutkaisia muiden osaamisalueiden käyttäjien satunnaiseen käyttöön (Huhtala, 2009). Tämä yllä kuvattu uusi toimintatapa kolmiulotteisen malli-informaation käytön laajentamisessa voi nopeuttaa kokoonpanoa ja sen opettamista. Syynä voidaan pitää sitä, että kolmiulotteinen malli voi yksikäsitteisesti ilmaista kokoonpanoprosessin kulun. Tällöin kokoonpanoprosessin aikana tuhlaantuva etsimiseen, arvailuun ja moneen kertaan tekemiseen kuluva aika saadaan eliminoidua. Eräissä tapauksissa kokoonpanopiirustuksen laatiminen voidaan jättää vaiheena kokonaan pois. Tuohan kokoonpanopiirustusten laatiminen ja päivittäminen suuren työtaakan suunnittelulle (Huhtala, 2009).

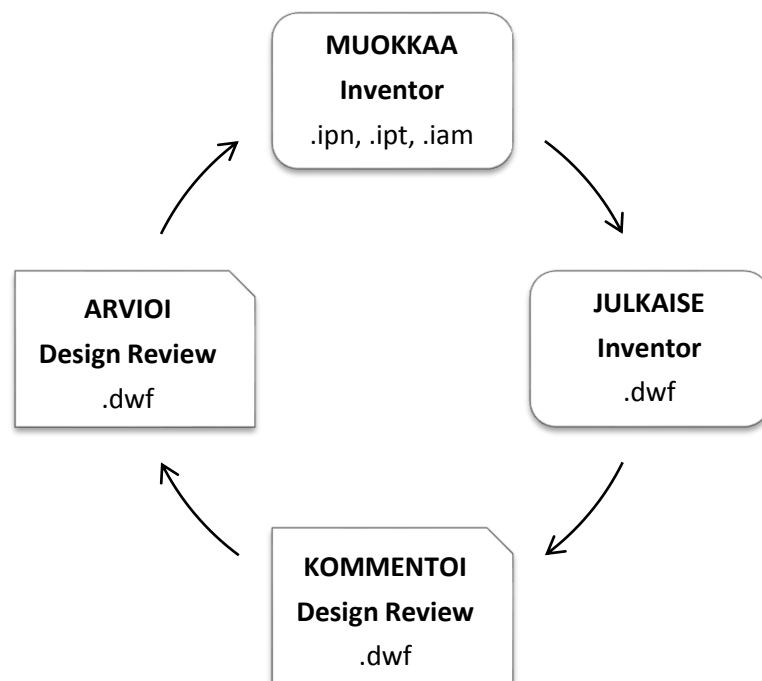
Tapaukset jossa kokoonpanopiirustuksia ei ole syytä suoraan hylätä, ovat tilanteita joissa kokoonpanopiirustus voidaan tehdä yksikäsitteisen selväksi. Kolmiulotteisen mallin hyödyntäminen tulee kyseeseen taas tilanteessa jossa kokoonpanoprosessin kaikkia relevantteja työvaiheita ei voida esittää pelkkien projektoiden avulla.

Mallin hyödyntämisen tuomia etuja ovat siis muun muassa muiden osaamisalueiden mahdollisuus osallistua tuotesuunnittelun itsenäiseen arviointiin ja palautteen antamiseen kommentoimalla prototyyppiä katseluohjelmiston kautta. Esimerkiksi valmistus voi suunnittelusta itsenäisesti ja rauhassa omalla ajallaan, ilman sovittuja palavereita, tutustua uusiin malleihin mahdollisimman aikaisessa suunnitteluprosessin vaiheessa. Tällöin ideointi ja asentajien ammattitaidon tuominen mukaan suunnitteluprosessiin on mahdollista paljon aikaisemmassa vaiheessa kuin normaalisti on totuttu. (Huhtala, 2009)

4.3 KOKOONPANTAVUUDEN KEHITTÄMINEN KOLMIULOTTEISEN TUOTEINFORMAATION AVULLA

Tässä osassa kuvataan miten kappaleessa 4.2 esitetty yritysten jo hallussa olevan kolmiulotteisen tuoteinformaation parempi hyödyntäminen voidaan toteuttaa käytännössä yrityksen nykyisillä ohjelmistoratkaisuilla. Dokumentaatiomallin rakentamisen perustana on kappaleessa 3.3.1 esitelty tiedon kategorinen jaottelu tiedon tyyppien kautta sekä niiden väliset kytkökset (data, informaatio, tietämys). Dataa malli ei käsittele suoraan - se luokitellaan informaatioon sulautuneeksi (kts. Kuva 8.)

Dokumentaatiomalli muodostuu siis kolmiulotteisesta tuoteinformaatiosta (*informaatio*) jota sovelletaan jakamisen, analysoinnin ja arvioinnin viitekehyksen kautta (*tietämys*). Dokumentaatiomalli voidaan toteuttaa tuotetiedonhallintaohjelmiston ja sen kanssa integroitujen ohjelmistojen hyödyntämällä. Nämä ohjelmistot työn erityistapauksessa ovat mekaniikkasuunnitteluohjelmisto *Autodesk Inventor* sekä kolmiulotteisen tuotetiedon tarkasteluun soveltuva katseluohjelmisto *Autodesk Design Review* sekä PLM-ohjelmisto *Sovelia*.



Kuva 17 Kolmiulotteisen informaation palautesilmukan neljä vaihetta.

Kuva 17 esittää kolmiulotteisen informaation palautesilmukan josta dokumentaatiomallin ydin muodostuu. Dokumentaatiomallin käyttöskenaario voidaan kuvata seuraavasti. Mekaniikkasuunnitteluohjelmiston avulla suunnittelu luo kolmiulotteista tuoteinformaatiota joka julkaistaan muiden osaamisalueiden tarkasteltavaksi heti ensimmäisistä protyypeistä alkaen. Katseluohjelmiston avulla on muiden osaamisalueiden mahdollista tutustua suunnittelun tuottamaan kolmiulotteiseen tuoteinformaatioon heti

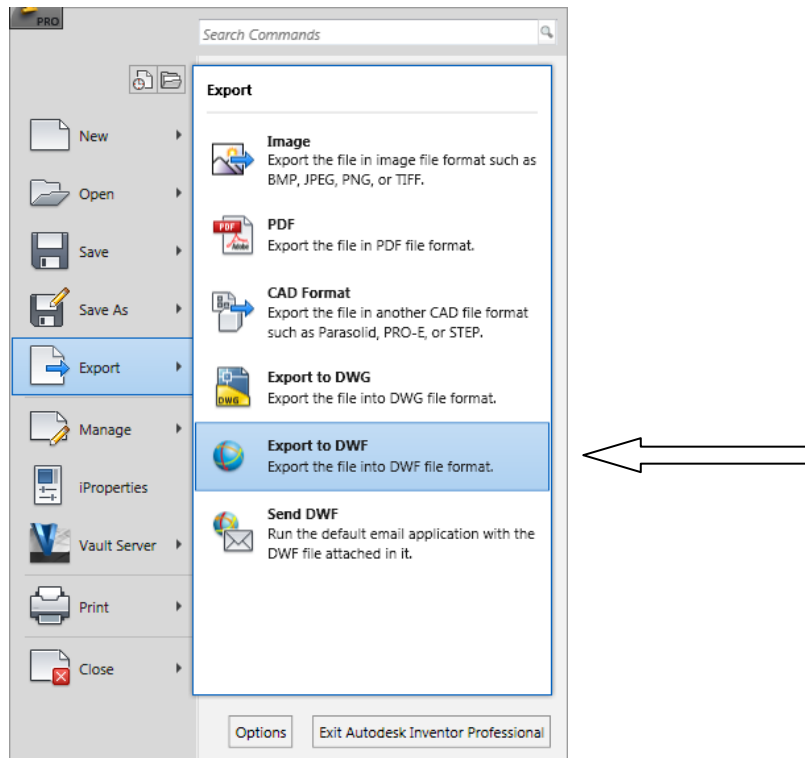
suunnitteluprosessin alusta alkaen jolloin kommentit ja parannusehdotukset saavat suurimmat vaikutuksensa. Tuotetiedonhallintasovellus hallitsee tuotetun tiedon elinkaarta. Silmukan ensimmäinen vaihe on kolmiulotteisen informaation julkaisu:

1. JULKAISE
2. KOMMENTOI
3. ARVIOI
4. MUOKKAA

Suunnittelun PLM-järjestelmän kautta tapahtuva tiedonsiirto, eli yleensä eri mekaniikkasuunnitteluohjelmistojen tuotokset, tallennetaan ohjelmistojen omissa natiiviformaateissa. Parametrisissa suunnitteluohjelmistoissa formaattiin sisältyy kaikki se informaatio, miten malli muodostuu mittojen, piirteiden sekä eri parametrien kautta. Tätä informaatiota voidaan ajatella eräänlaisena reseptinä jolla malli muodostetaan. Tätä ”reseptiä” ei kuitenkaan ole tarpeen jakaa eteenpäin, koska se ei ole oleellista informaatiota joka auttaisi palautteen annossa itse komponentista tai kokoonpanosta. Näin ollen ensimmäinen vaihe palautesilmukassa on kolmiulotteisen tuoteinformaation julkaisu muiden osaamisalueiden käyttöön siinä muodossa joka poistaa tämän epäolennaisen informaation sekä mahdollistaa kommentit suoraan oleelliseen kolmiulotteiseen informaation sisällytettynä.

4.3.1 JULKAISU

Kolmiulotteista informaatiota tuottavat ohjelmistot voivat tallentaa niissä tuotettua informaatiota monissa eri formaateissa. Yhteensopivuus eri ohjelmistojen välillä saavutetaan käyttäen standardiformaatteja. Standardiformaatit poistavat ohjelmistokohtaiset piirretiedot malleista, jolloin niiden mallinnustapa ei näy loppukäyttäjälle asti, vaan jäljelle jää pelkkä kolmiulotteinen data. Autodesk Inventor ohjelmiston tuottamat mallit voidaan tallentaa näissä erilaisissa natiivi- ja standardiformaateissa **Export** toiminnon avulla. Toiminto löytyy käynnistysvälilehden alta klikkaamalla Inventor-ikonia vasemmassa ylänurkassa (Kuva 18). Tarjolla olevista julkaisuvaihtoehdoista sopivin kolmiulotteisen malli-informaation jakamiseksi, jos tarkoitus on hyödyntää yllä kuvattua palautesilmukkaa, on .dwf formaatti (Design Web Format). Design Web Format on Autodeskin kehittämä natiiviformaatti joka kehitetty eri osaamisalueiden väliseen suunnittelutiedon jakamiseen ja kommentointiin.



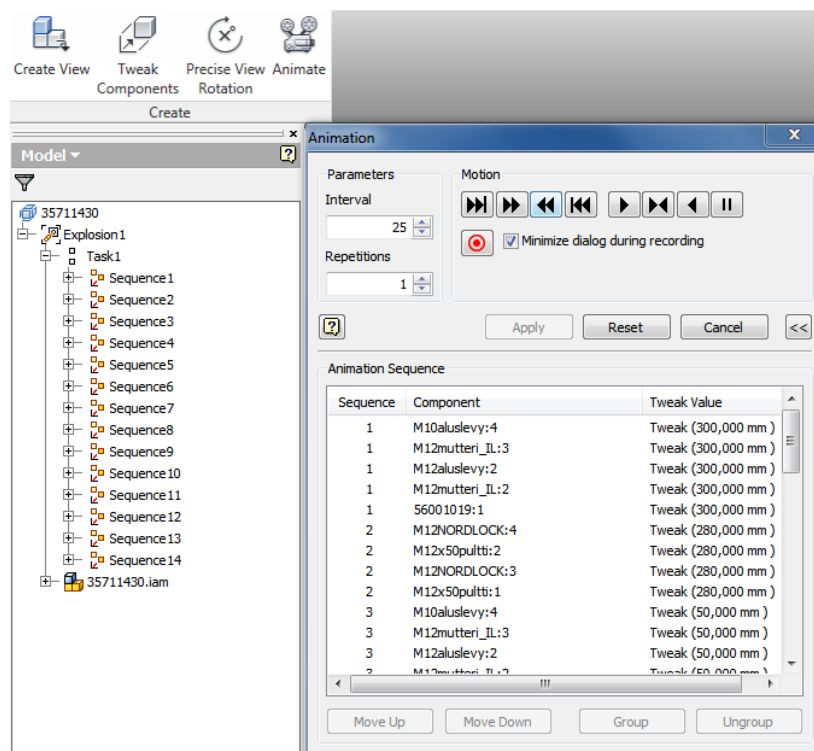
Kuva 18 Autodesk Inventor ohjelmiston Export-valikon alta löytyvät pääjulkaisuvalikoiden vaihtoehdot versiossa 2012 Professional.

Jokainen Inventor-ohjelmiston tuottamista tiedostotyypeistä soveltuu julkaistavaksi DWF-formaatin kautta. Osat (.ipt) sekä kokoonpanot (.iam) ovat erityisen soveltuvia tiedostotyyppinä palautesilmukkaan julkaistavaksi, jolloin esimerkiksi voidaan kommentoida yksittäisten osien valmistettavuutta tai niiden välisten kytkentöjen järkevyyttä kokoonpantavuuden kannalta. Erityisesti kokoonpantavuuden parantamisessa suurin hyöty voidaan kuitenkin saavuttaa käyttämällä julkaisuissa hyväksi .ipn tiedostotyyppiä. Tämä tiedostotyyppi on esitustiedosto, jolla nimensä mukaisesti voidaan laatia räjäytyskuvia ja animaatioita jotka soveltuvat kolmiulotteisen tuoteinformaation esittämiseen erinomaisesti.

Tavallisesti räjäytyskuvia laadittaessa, erityisesti kiireellisen aikataulun rajoittamana, ilmenee osittain sama ilmiö joka kuvattiin kappaleessa 4.2 osien numeroinnin osalta. Osat asemoidaan räjäytyskuvassa kokoonpantavuuden selkeyden kannalta oikein, eli osien välillä on riittävä etäisyys, mutta siirtokomennot ohjelman sisällä on saatettu tehdä mielivaltaisessa järjestyksessä jolloin liikeradat eivät ole kokoonpanojärjestyksessä. Tavanomaisiin kokoonpanopiirustuksiin räjäytyskuvia tehtäessä tämä ei muodostu ongelmaksi, koska väliä on vain komponenttien välisellä etäisyydellä räjäytyskuvassa. Räjäytyskuvaan implisiittisesti sisältyvä tieto siitä, missä järjestyksessä komponentit ohjelman avulla on siirretty paikoilleen, ei kokoonpanoasentajaa kiinnosta ja on hänelle täysin epäolennaista. Jos tarkoitus on kuitenkin tehdä kokoonpanoprosessia selventäviä animaatiotiedostoja, joissa siis kuvataan yksikäsitteisesti kokoonpanon työvaiheittaiset liikeradat kokoonpanojärjestyksessä, joutuu suunnittelija tekemään tur-

haa työtä jos hän ei ole alunperin kiinnittänyt huomiota osien kokoonpanojärjestykseen osia räjäytyskuvassa siirtäessään.

Helpoin tapa kokoonpanoprosessia selventävien animaatioiden tekoon Inventor-ohjelmistolla on siis usein jo saatavilla olevien räjäytyskuvien hyödyntäminen. Inventor ohjelmiston presentation (.ipn) käyttää hyväksi ohjelman luomia kokoonpanotiedostoja (.iam). Räjäytyskuvat tehdään määrittämällä kokoonpanotiedoston komponenttien väli-set etäisyydet (jotka virtuaalisesti vastaavat komponenttien liikeratoja asennusvaiheen aikana) **Tweak Components**-työkalun avulla. Kuva 19 esittää erään esimerkkiponponentin räjäytyskuvan piirrepuun joka sisältää 14 sekvenssiä (**Sequence 1 – 14**). Nämä sekvenssit sisältävät komponenttien liikeradat kokoonpanovaiheessa eli sille määritellyt translaatiot ja rotaatiot, joiden kautta ne asennetaan paikalleen.



Kuva 19 Räjäytyskuvan kokoonpanojärjestyksen vaiheistuksen animointi.

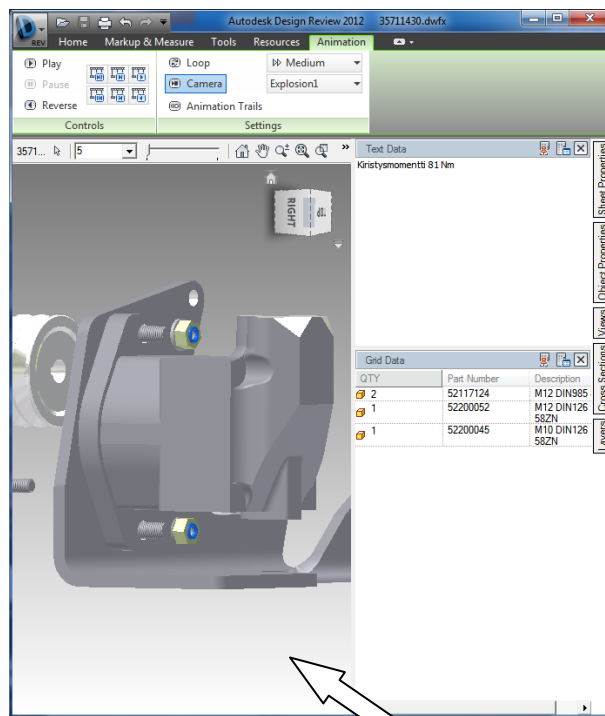
Piirrepuusta nähdään, että räjäytyskuvan (**Explosion1**) pohjana toimii kokoonpano 35711430.iam jonka komponentit voivat liittyä yhteen tai useampaan komponentin translaatioon tai rotaatioon. Kokoonpanon komponentit voidaan siis jakaa näin eri pää- ja alityövaiheiden alaisiksi (**Task – Sequence**), todellisten komponenttien asennussuuntia vastaaviksi ”työpaketeiksi”. Jokaiselle vaiheelle voidaan kirjoittaa erilliseen tekstikenttään (**Description**) vaihetta selventäviä ohjeita kuten tarvittavat työkalut, tarvittava kiristysmomentti yms. Kirjoitettu teksti näkyy lopullisessa Design Web Format-tiedoston animaatioissa. Tekstikenttä löytyy piirrepuun haluttua työvaihetta vasemmalla hiiren napilla klikaten ja valitsemalla valikosta **Edit**-komento. Samasta ikkunasta löyty-

vä työkalu (**Set Camera**) asettaa työvaihekohtaiset kamerakulmat, joihin animaation edetessä kamerakulma vaihtuu niihin automaattisesti.

Koska Inventor animoi kokoonpanon räjäytyskuvan automaattisesti yllä esitetyn komponenttien sekvenssijärjestyksen perusteella (translaatiot ja rotaatiot animoidaan keyframing-periaatteella), ei kokoonpanotiedostojen animointi vaadi sinänsä suurta työpanosta verrattuna vastaavan kokoonpanon kokoonpanopiirustuksen tekemiseen.

Kokoonpanoanimaation tarvitaan kokoonpanotiedosto josta on tehty räjäytyskuva ja jonka komponentit on asetettu kokoonpanojärjestystä vastaavaan sekvenssien järjestykseen (**Task – Sequence**) ja määritetty sekvensseihin kuuluville komponenteille niille kuuluvat asennusvaiheita vastaavat translaatiot ja rotaatiot. Kun tällainen kokoonpanoanimaatio on valmis, voidaan sen .ipn esitystiedosto julkaista DWF-formaatissa PDM-järjestelmän tuoterakenteen sisälle ipt, iam ja idw tiedostojen rinnalle. Katseluohjelmaan PDM-järjestelmän kautta avattu tiedosto käy automaattisesti kokoonpanoanimaation läpi esitystiedostossa määritetyn sekvenssin kautta. Se myös näyttää mahdolliset työvaiheissa tekstikenttään kirjoitetut lisäohjeet sekä vaihtaa kamerakulmat kutakin työvaihetta vastaavaksi, mikäli nämä on asetettu.

4.3.2 KOMMENTOI



Julkaisuvaiheessa määritetty tekstikenttä(**Description**), saadaan näkyviin valitsemalla näkymäksi **Text Data**

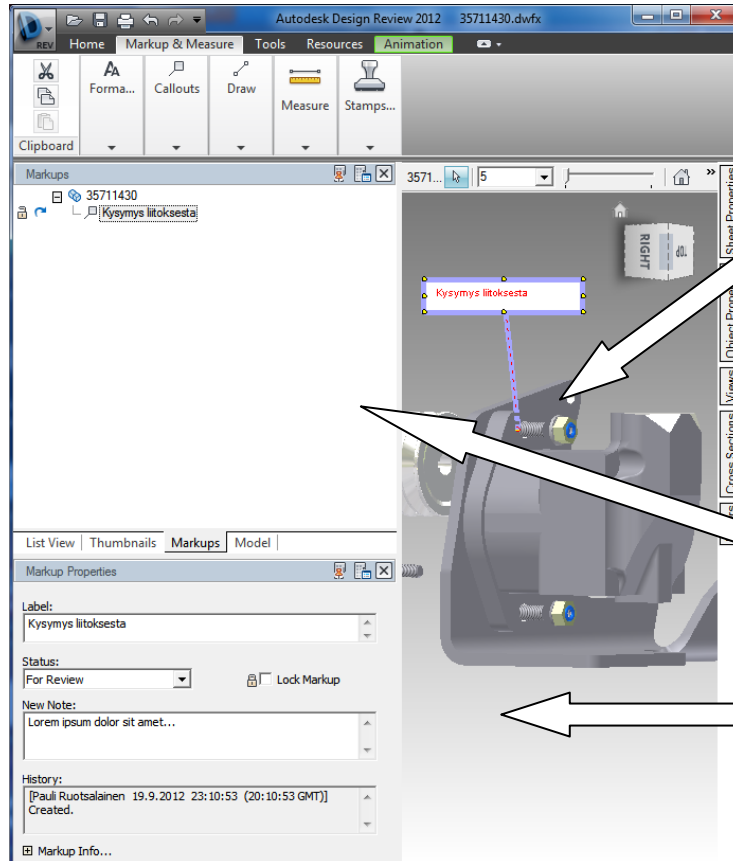
Työvaiheeseen (**Sequence**) kootut komponentit nähdään näkymän **Grid Data** alta

Malli/animaatioikkuna jossa animaatio nähdään. Työvaihekohtaiset kamerakulmat on asetettu julkaisuvaiheessa **Set Camera**-komennolla

Kuva 20 Autodesk Design Review.

Kuva 20 esittää julkaistun kokoonpanoanimaation DWF-formaatissa avattuna Autodesk Design Review-ohjelmaan. Katseluohjelmassa animaatiota voidaan kontrolloida yläva-

likosta tai antaa animaation pyöriä automaattisesti, jolloin se pyörii koko kokoonpanoprosessin läpi. Pääikkunan näkymän lisäksi voidaan oikealla sijaitsevan valikon alta valita animaation aikana esitettäväksi lisäinformaatiota, kuten työvaiheeseen julkaisuvaiheessa lisätyt tekstikentät (**Text Data**) tai työvaiheeseen kuuluvat komponentit (**Grid Data**), jotka katseluohjelma esittää automaattisesti. Kokoonpanoprosessin jokainen vaihe saadaan esiin valitsemalla näkymäksi (**Views**).



Merkintään liittyvä kohta voidaan ilmaista yksikäsitteisesti viittaamalla siihen suoraan geometriassa

Merkintälistaus jossa esillä kaikki malliin tehdyt merkinnät

Merkinnän otsikko ja status. Kommentit tekstikentässä sekä merkinnän tekijä ja päivämäärä/ajankohta

Kuva 21 Merkintöjen tekeminen Markups & Measure välilehden Callouts työkalun avulla.

Kuva 21 esittää katseluohjelmiston kautta malliin lisätyn merkinnän joka näkyy myös malli-ikkunassa laatikkona jossa se osoittaa kommenttia koskevaa kohtaa. Katseluohjelmaan avatun kolmiulotteisen tuoteinformaation yksityiskohtien kommentointi tapahtuu **Markup & Measure** välilehden alta löytyvän **Callouts** työkalun avulla, jolla kannattaa valita merkintään liittyvä kohta geometriassa. Jokainen malliin tehty merkintä listataan **Markups** välilehden alta. Eri osaamisalueiden kommentoiman DWF-tiedoston päivittyessä PLM-järjestelmään se voi toimia suorana palautuskanavana komponenttia tai kokoonpanoa suunnittelevalle insinöörielle.

4.3.3 ARVIOI

Yllä kuvattu palautesilmukka soveltuu hyvin niin sanottuun päivittäiseen, välittömään palautteen antoon, jonka perusteella malliin voidaan tehdä nopeita muutoksia. Esille voi

nousta kuitenkin tuotteen kannalta sellaisia kehityksen näkökantoja, joita on hyvä käydä suunnitteluprosessin yhteisissä suunnittelupalavereissa läpi. Palaverissa katseluohjelman kautta voidaan malli näin käydä läpi ja lisätä merkintälistauksessa toimenpiteitä vaativat suositukset sille tehtävistä muutoksista suoraan mallin geometriaan. Näin mallin kommentit voidaan muokata suunnittelun muistiinpanoiksi, joiden avulla on yksikäsitteisesti kuvattu mitä muutoksia halutaan tehdä, mitkä piirteet, liitokset, työvaiheet vaativat muutoksia ja kenen toimesta. Tämä vaihe on tuotemuutosten hallintaan liittyvä (ECM, Engineering Change Management) ja vaatii järjestelmällisen luokituksen parannusehdotuksille. Luokkia voivat olla vaikkapa tuotannon ylösajossa syntyvät pienet parannusehdotukset jotka voidaan antaa välittömänä palautteena tuotekehitykselle, tuotteen elinkaaren myöhemmässä vaiheessa vaikuttavat tuote/prosessi-muutokset, sekä suuremmat parannusehdotukset jotka johtavat tuotekehitykseen.

4.3.4 MUOKKAA

Arviointivaiheessa DWF-tiedostoon lisättyjen kommenttien perusteella voidaan siis yksikäsitteisesti dokumentoida tarvittavat suunnittelumuutokset. Sen jälkeen kun mallia on muokattu malliin lisättyjen muutospyyntöjen perusteella, malli lähtee uudelle palauttesilmukan kierrokselle julkaisuvaiheen jälkeen ja PLM-järjestelmän revisiohallinnan kautta saadaan dokumentoitua sähköinen jälki suunnitteluhistoriasta järjestelmään.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOKEHITYS

Kappaleessa 4.3 esitetty kolmiulotteisen tuoteinformaation dokumentaatiomalli voi tehostaa kokoonpano- sekä suunnitteluprosesseja hyödyntämällä olemassa olevia työkaluja ja yrityksen henkilöstön tietämystä uudella tavalla. Työssä kuvattu dokumentaatiomalli voi selkeyttää palautteen antamista suunnitteluprosessin aikana luomalla edellytyksiä rinnakkaissuunnittelun käyttöönnotolle. Dokumentaatiomallin avulla voidaan myös tallentaa tuotteisiin sisältyvä implisiittinen tietämys, dokumentoimalla suunnitteluhistoriaa suoraan mallidataan - miksi jotain tehtiin ja miten tähän tilanteeseen tässä osan tai kokoonpanossa piirteessä päädyttiin. Kolmiulotteisen tuoteinformaation parempi hyödyntäminen kokoonpanoanimaatioiden kautta voi selkeyttää myös uusien monimutkaisten kokoonpanoprosessien oppimista, eli tehostaa implisiittisen kokemuseräisen tiedon syntymistä.

Kolmiulotteisen tuoteinformaation käyttö kokoonpanossa tapahtuu tällä hetkellä siis kokoonpanopiirustusten kautta ja muita työohjeita ei ole. Tässä työssä esitetään malli jonka kautta olemassa oleva kolmiulotteinen tuoteinformaatio voidaan hyödyntää tehokkaammin kuvaamaan kokoonpanon työprosesseja. Tässä työssä kuvattu tapa hyödyntää kolmiulotteista tuoteinformaatiota suoraan, ilman kaksiulotteisen kuvauksen kautta kulkevaa välivaihetta (eli kokoonpanopiirustusten tekemistä), voidaan olettaa olevan kehityksen seuraava aste kolmiulotteisen tuoteinformaation hyödyntämisessä.

Seuraava jatkokehityksen vaihe kolmiulotteisen tuoteinformaation hyödyntämisessä voi olla siirtyminen sen esittämisestä tietokoneen näytöltä suoraan kokoonpanotilaan. Tällöin puhutaan kokoonpanoprosessin tukemisesta virtuaalisesti niin sanotun lisätyn todellisuuden avulla (englanniksi *Augmented Reality*). (VTT, 2009) Tässä mallissa kokoonpanoanimaatiot ja komponentit lisätään todellisen kokoonpanotilan tai minkä tahansa todellisen mielivaltaisen tilan kolmiulotteiseen avaruuteen, erilaisten virtuaalilasien ja paikannustekniikoiden avulla.

Jo nykyisin käytettävissä olevaa kolmiulotteista tuoteinformaatiota voitaisiin hyödyntää enemmän kokoonpantavuuden kehittämisessä myös virtuaalilaboratorioiden² kautta, joissa suoritettavat katselmoinnit voivat avata uusia oivalluksia ja valaista huomautta jättäviä epäkohtia erilaisten käyttöskenaarioiden kautta. Hyvin usein tietokoneen ruudulta, vaikka suunnittelija voi olla tietoinen ja ottaa huomioon ihmisen antropomorfiset mitat, ei ole mahdollista nähdä virtuaalisessa mallissa olevia puutteita. Virtuaalitodellisuudessa, kokoonpano- tai hitsausprosessia tarkastellessa, suunnitteluinsinööri voi itse huomata että ihminen joutuu olemaan epäinhimillisessä asennossa tai työvaihe on mahdoton toteuttaa käytännössä. Tämä katselmointi voidaan toteuttaa jo heti ensimmäisten 3D-mallien avulla, suunnitteluprosessin ensi vaiheista alkaen. Näin voidaan välttää tilanne jossa vasta ensimmäistä fyysistä prototyyppiä koottaessa huomataan ratkaisun toimimattomuus ja tajutaan että kokoonpantavuudelle ei asetettu riittävästi painoarvoa suunnitteluprosessin alkuvaiheessa.

² VTT:n virtuaalilaboratorio : http://www.vtt.fi/references/eliminating_design_error.jsp?lang=en

6 LÄHDELUETTELO

- Alexandrov, O. (2012). Haettu 2. lokakuu 2012 osoitteesta Wikimedia Commons: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Monotonicity_example1.png
- Blacker, F. (1995). Knowledge, knowledge work and organizations: an overview and interpretation. *Organization Studies*, 60(16), 1021-1046.
- Booker, J.; Raines, M.; & Swift, K. (2001). *Designing Capable and Reliable Products*. Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Boothroyd; & Dewhurst. (ei pvm). *DFMA*. Haettu lokakuu 2012 osoitteesta <http://www.dfma.com/>
- Bralla, J. (1999). *Design for Manufacturability Handbook*. McGraw-Hill.
- Brown, D. (1998). Defining configuring. In *Artificial Intelligence in Engineering*. 12(4), 301-305.
- Danilovic, M.; & Browning, T. (2007). Managing complex product development projects with design. *International Journal of Project Management*, 300-314.
- Desmeules, R. (2002). The Impact of Variety on Consumer Happiness: Marketing and the Tyranny of Freedom. 22, 1-18.
- Fogliatto, F. S.; & da Silveira, G. J. (2011). *Mass Customization*. Springer.
- Harlou, U. (2006). *Developing product families based on architectures*.
- Huhtala, P. (2009). Tuotannon rooli osana tuotekehitystä ja tuotannon ylösajossa. Teoksessa P. Huhtala; & A. Pulkkinen, *Tuotettavuuden kehittäminen - Parempi tuotteisto useasta näkökulmasta*. Tampere: Teknologiateollisuus.
- Huhtala, P.; & Pulkkinen, A. (2009). Tuotteen, prosessin ja verkon tasapainoinen tarkastelu. Teoksessa P. Huhtala; & A. Pulkkinen, *Tuotettavuuden kehittäminen - Parempi tuotteisto useasta näkökulmasta*. Tampere: Teknologiateollisuus.
- Hvam, L.; Mortensen, N. H.; & Riis, J. (2008). *Product customization*. Springer Verlag.
- Kahn, B. (1998). Dynamic relationships with customers: high-variety strategies. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 26, 45-53.
- Kumar, A. (2004). Mass Customization: Metrics and Modularity. *International J of Flexible Manufacturing Systems*, 16, 287-311.
- Lehmann, D. R. (1998). Customer reactions to variety: too much of a good thing? *Journal of the Academy of Marketing Science*, 26, 62-65.
- Lehtonen, T. (2007). *Designing Modular Product Architecture in the New Product Development*. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto - Tampere University of Technology.
- Marques et al. (2006). The effect of innovation on intellectual capital: an empirical evaluation in the biotechnology and telecommunications industries. *International Journal of Innovation Management*(10), 89-112.
- Maurer, M.; & Lindemann, U. (2008). The application of the Multiple-Domain Matrix: Considering multiple domains and dependency types in complex product design. *Systems, Man and Cybernetics*, 2008. SMC 2008. *IEEE International Conference on* , (ss. 2487 - 2493).

- Normet Oy. (2012). Haettu 2. syyskuuta 2012 osoitteesta <http://www.normet.com/>
- Pere, A. (2009). *Koneenpiirustus 1 & 2*. Kirpe.
- Pulkinen, A. (2007). *Product Configuration in Projecting Company: The Meeting of Configurable Product Families and Sales-Delivery Process* (Osa/vuosik. Publication 712). Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto - Tampere University of Technology.
- Savonia-ammattikorkeakoulu. (2012). Haettu 2. syyskuuta 2012 osoitteesta <http://portal.savonia.fi/amk/tutustu-savoniaan>
- Schwarze, S. (1996). *Configuration of Multiple-Variant Products*. vdf Hochschulverlag AG.
- Tidd, J.;& Bessant, J. (2009). *Managing Innovation - Integrating Technological, Market and Organizational Change* (4th p.). John Wiley & Sons, Ltd.
- Tseng, M.;& Jiao, J. (2001). *Mass Customization, Handbook of Industrial Engineering, Technology and Operation Management*. New York: Wiley.
- Wikimedia Commons. (17. heinäkuuta 2010). Haettu 2. syyskuuta 2012 osoitteesta http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b9/Map_of_Northern_Savonia-fi.svg
- VTT. (2009). *Augmented Assembly - Ohjaava kokoonpano*. VTT. Haettu Syyskuu 2012 osoitteesta <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2009/W138.pdf>
- Österholm, J. (2000). *Modulaarinen tuoterakenne ja sitä tukevien systemaattisten työkalujen käyttö tuotekehitysprojekteissa*. Tampere: TTY, Tuotantotekniikan laitos.
- Österholm, J.;& Tuokko, R. (2001). *Systemaattinen menetelmä tuotemodulointiin - Modular Function Deployment*. Metalliteollisuuden Keskusliitto MET.